

Магістерська дисертація

на тему: Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів руху
кристалізатора

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний
(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 004.652.4:62-791.2
(універсальна десятична класифікація.
Для визначення УДК конкретної дисертації
студенту слід звернутися в 1-й зал бібліотеки)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
М.Д. Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)
“___” травня 2019 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістр**

зі спеціальності (спеціалізації) 152 Метрологія та інформаційно-вимірю-
вальна техніка (Інформаційні технології та
вимірювальні системи механіки)
(код і назва)

на тему: Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів руху
кристалізатора

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПІ-71мн
(шифр групи)

Скрипник Дмитро Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник проф. д.т.н. Гераїмчук М. Д.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту доцент, Бояринова К.О.
(назва розділу) (посада, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	МД.ПІ71мн.19.000.00ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1		Презентаційний аркуш	1	
4	A1		Матеріали огляду	1	
5	A1		Алгоритми	2	
6	A1		Модель	1	
7	A1		Графіки	1	
Загальна кількість графічних документів - 6 арк.ф. А1					

				МД.ПІ71мн.19.000.01		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Скрипник Д.В.			Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Керівн.	Гераїмчук М.Д.				3	102
Конс.					КПІ імені Ігоря Сікорського каф. ПБ гр. ПІ– 71мн	
Н/контр.						
Зав.каф.						

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ Приладобудівний _____
(повна назва)

Кафедра _____ Приладобудування _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність(спеціалізація) 152 Метрологія та інформаційно-вимірю-
вальна техніка (Інформаційні технології та
вимірювальні системи механіки)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М.Д.Гераїмчук _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

_____ Скрипнику Дмитру Віталійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів
руху кристалізатора _____

науковий керівник дисертації Гераїмчук Михайло Дем'янович, проф., д.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «18» березня 2019 р. № 914-с .

2. Строк подання студентом дисертації 13 травня 2019р

3. Об'єкт дослідження система контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ .

4. Предмет дослідження методи обробки і аналізу інформації, зібраної системою
контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Огляд матеріалів за темою магістерської дисертації. Розробка програмного забезпечення. Розробка моделі та алгоритму роботи моделі. Проведення експериментальних досліджень. Розробка стартап-проекту. Висновки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу матеріали аналітичного огляду (1 арк), структурні схеми (1 арк), алгоритми (1 арк), графіки (1 арк), презентаційний аркуш (1 арк)

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації^{1□}

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова К.О. к.е.н, доцент		

9. Дата видачі завдання 2 квітня 2019р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд і аналіз літератури	01.04.2019 – 07.04.2019	
2	Проведення розрахунків та аналізу	08.04.2019 – 21.04..2019	
3	Розробка стартап-проекту	22.04.2019 – 26.04.2019	
4	Оформлення текстової та графічної частини	22.04.2018 – 3.05.2018	

Студент

(підпис)

Скрипник Д. В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Гераїмчук М. Д.
(ініціали, прізвище)

¹ □ Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

Реферат

Магістерська дисертація на тему «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів руху кристалізатора» складається з 3 розділів, висновків, списку літератури і додатків. Пояснювальна записка містить 100 сторінок, 20 рисунків, 23 таблиць, список літератури з 18 найменувань та 2 додатки.

Тема магістерської дисертації є актуальною, оскільки інформаційно-вимірювальні системи моніторингу параметрів руху кристалізатора машини неперервного лиття заготовок достатньо поширені на підприємствах, що займаються литтям заготовок за технологією неперервного лиття. Їх використання дозволяє значною мірою знизити вірогідність випуску бракованих заготовок, покращити якість лиття в цілому та убезпечити машину неперервного лиття заготовок від виходу з ладу через попередження ряду причин: поява зазорів між елементами кристалізатора, зсув фаз хитання, поява неточностей у роботі двигуна. Існує ряд задач з оптимізації, підвищення точності та надійності режимів роботи машини неперервного лиття заготовок. Саме тому дослідження принципів роботи зазначених систем та оптимізація режимів їх роботи є важливою та актуальною задачею.

Метою дослідження у магістерській дисертації є огляд наявних систем контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ, дослідження існуючих методів обробки інформації у подібних системах, розробка програмного забезпечення, що виконує аналогічні функції, дослідити можливість інтеграції сучасних інформаційних технологій у подібні системи.

Об'єктом досліджень є система контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ.

Предметом досліджень є методи обробки і аналізу інформації, зібраної системою контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ.

Наукова новизна результатів, отриманих у магістерській роботі, полягає у систематизації методів вимірювання прискорень, швидкостей і переміщень, що використовуються у системах контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ,

розробці моделі системи контролю з використанням технології машинного навчання, дослідження доцільності використання баз даних для збереження обробленої інформації, дослідження впливу складових сигналів, зчитаних з кристалізатора МНЛЗ, на вихідну характеристику вимірювальної системи.

Ключові слова: комп'ютерно-інтегрована система, акселерометр, механізм хитання кристалізатора, машинне навчання, бази даних.

Abstract

The master's dissertation on the topic "Information-measuring system for monitoring parameters of motion of a crystallizer" consists of 3 chapters, conclusions, literature list and attachments. The explanatory note contains 100 pages, 20 figures, 23 tables, a literature list with 18 titles and 2 attachments.

The topic of the master's dissertation is relevant, since information measuring systems for monitoring the parameters of the motion of the crystallizer of the continuous casting machine are quite common in enterprises engaged in casting of billets using continuous casting technology. Their usage allows to greatly reduce the probability of the production of defective blanks, to improve the quality of casting in general and to secure the machine of continuous casting of blanks from failure by warning a several reasons: the appearance of gaps between the elements of the crystallizer, the displacement of phases, the occurrence of inaccuracies in the engine operation. There are a number of optimization tasks, increasing the accuracy and reliability of the machine operating modes of continuous casting. That is why studying the principles of the work of these systems and optimizing their working modes is an important and relevant task.

The purpose of the study in the master's thesis is to review existing systems for controlling the parameters of the motion of the crystallizer of continuous casting machine, studying existing methods of processing information in such systems, developing software that performs similar functions, to explore the possibility of integrating modern information technologies in such systems.

The object of research is the control system of parameters of motion of the crystallizer continuous casting machine.

The subject of research is the methods of processing and analysis of information collected by the control system parameters of the motion of the crystallizer continuous casting machine.

The scientific novelty of the results obtained in the master's thesis is to systematize the methods of measuring accelerations, velocities and displacements used in the control

systems of parameters of motion of the crystallizer continuous casting machine, development of a model of the control system using machine learning technology, to study of the feasibility of using databases for the storage of processed information, research the influence of the composite signals read from the crystallizer continuous casting machine on the output characteristic of the measuring system.

Key words: computer-integrated system, accelerometer, crystallizer oscillation mechanism, machine learning, databases.

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	12
Вступ.....	13
1. Огляд та аналіз систем діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора.....	16
1.1. Машина неперервного лиття заготовок.....	16
1.2. Кристалізатор.....	21
1.3. Системи діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора	26
1.4. Вимірювання параметрів руху системи.....	32
1.4.1. Загальна інформація.....	32
1.4.2. Основні вимірювані параметри віброколивань.....	33
1.5. Машинне навчання.....	35
1.5.1 Загальні відомості.....	35
1.5.2 Засоби оцінки точності та покращення роботи моделі. Крос-валідація.....	40
1.6. Висновки до розділу 1.....	43
2. Науково-дослідницька частина.....	45
2.1. Складання алгоритму роботи системи контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ.....	45
2.1.1. Складання алгоритму роботи діагностичної моделі для системи контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ.....	45
2.1.2. Складання алгоритму роботи системи	48
2.2. Застосування крос-валідації для оцінки якості моделі та покращення результатів її роботи.....	52
2.3. Застосування баз даних.....	53
2.4. Валідація даних за допомогою методу площини.....	57
2.5. Висновки до розділу 2.....	59

3. Розробка стартап проекту «Мобільна система діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора».....	61
3.1 Опис ідеї проекту.....	61
3.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	64
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	65
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	73
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	77
3.6 Висновки до розділу 3.....	80
Висновки.....	83
Список використаної літератури.....	84
Додатки.....	86

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

КВ – крос-валідація

КІС – комп'ютерно-інтегрована система;

МД – магістерська дисертація;

МНЛЗ – машина неперервного лиття заготовок

ПЗ – програмне забезпечення

ПК – персональний комп'ютер

СКВ – середнє квадратичне відхилення

СУБД – система управління базами даних

УНРС - установка неперервного розливання сталі

Вступ

Металургійні підприємства, що займаються виготовленням заготовок за допомогою технології неперервного лиття, використовують машини неперервного лиття заготовок (МНЛЗ). Ключовою структурною частиною машини є кристалізатор, якість роботи якого визначає якість заготовки в цілому. Тому такі машини потребують використання систем моніторингу та діагностики механізму хитання кристалізатора з метою дотримання режимів його роботи та траєкторії руху.

Системи контролю параметрів руху кристалізатора дають можливість оцінити правильність налаштування обладнання, перевірити справність ливарного обладнання в надзвичайно короткий термін та запобігти можливим поломкам та надзвичайним ситуаціям. Через небезпечність та складність процесу лиття заготовок працівники підприємства надзвичайно залежать від справності обладнання та ливарних установок. Аварія на МНЛЗ нерідко приводить до людських жертв і значних фінансових втрат для підприємства через простої виробництва.

Мета МД: метою даної магістерської роботи є дослідження режимів роботи систем контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ, дослідження доцільності використання баз даних та технології машинного навчання у системі контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ і розробка програмного забезпечення для моніторингу та діагностики стану МНЛЗ.

Задачі МД: огляд існуючих систем контролю та моніторингу руху кристалізатора МНЛЗ, методів обробки та аналізу даних, отриманих внаслідок роботи вказаних систем, розробка програмного забезпечення для моніторингу і діагностики стану рухомих частин кристалізатора МНЛЗ з використанням машинного навчання.

Об'єкт дослідження: система контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ.

Предмет дослідження: методи обробки і аналізу інформації, зібраної системою контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ.

Методи дослідження: розроблене програмне забезпечення, технологія машинного навчання.

Результати МД:

Проведено аналіз методик контролю системи діагностики рухомої частини кристалізатора МНЛЗ.

Досліджено доцільність застосування баз даних для збереження результатів обробки даних.

Розроблено та створено програмне забезпечення.

Новизна результатів МД: новизна підтверджена відсутністю подібного програмного забезпечення під проведення патентного пошуку.

Практичне значення отриманих результатів: проведені дослідження мають практичне значення, їх результати можна використовувати при розробці нових або вдосконаленні існуючих систем контролю параметрів руху кристалізатора для подальшого їх використання на металургійних підприємствах. Це дозволить збільшити вірогідність раннього діагностування несправностей системи.

Наукова цінність результатів МД: у роботі розроблено програмне забезпечення для системи контролю параметрів руху рухомої частини кристалізатора МНЛЗ.

Публікації:

1. Стаття у матеріалах XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні»

2. Стаття у матеріалах журналу «ВЧЕНІ ЗАПИСКИ Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Технічні науки» Том 29 (68) № 5 2018 Частина 3.

Ключові слова: механізм хитання кристалізатора, комп'ютерно-інтегрована система діагностування.

1 Огляд та аналіз систем діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора

1.1 Машина неперервного лиття заготовок (МНЛЗ)

МНЛЗ (машина неперервного лиття заготовок) або УНРС (установка неперервного розливання сталі) - металургійний агрегат для розливання сталі. Перша назва «УНРС» згодом було практично витіснена аббревіатурою «МНЛЗ» [1] .

Даний спосіб виготовлення заготовок було винайдено ще у середині 19 століття Г. Бессемером. Перші спроби реалізації не були вдалими, експеримент. Лише у 30-х роках неперервне лиття заготовок набуло того вигляду, який має і зараз – лиття через кристалізатор з постійним охолодженням водою. При цьому, спосіб лиття був абсолютно не прив'язаний до типу металу, виготовлялися заготовки як з кольорових металів, так і з їх сплавів, а пізніше і з чорних металів. Після війни і СРСР почав впроваджувати технологію неперервного лиття заготовок в промисловість. У 1955 році на заводі «Червоне Сормово» була запущена перша в СРСР установка безперервного розливання сталі (УБРС). Протягом наступних 20 років було побудовано та введено в експлуатацію близько 40 УБРС по всьому СРСР.

Технологія неперервного розливання сталі має ряд переваг перед іншими методами: менше витрачається металу; збільшується доля придатного прокату через скорочення зони обрізання заготовки; зменшені витрати на будівництво цеху, оскільки зникає необхідність у виливницях з чавуну, відділеннях для підготовки та діставання злитків з форм, прокатних станків для обробки злитків у заготовки; з'являється можливість автоматизувати та механізувати сам процес відливки заготовки; покращується якість поверхні злитку через швидке затвердіння металу та підвищення його однорідності.

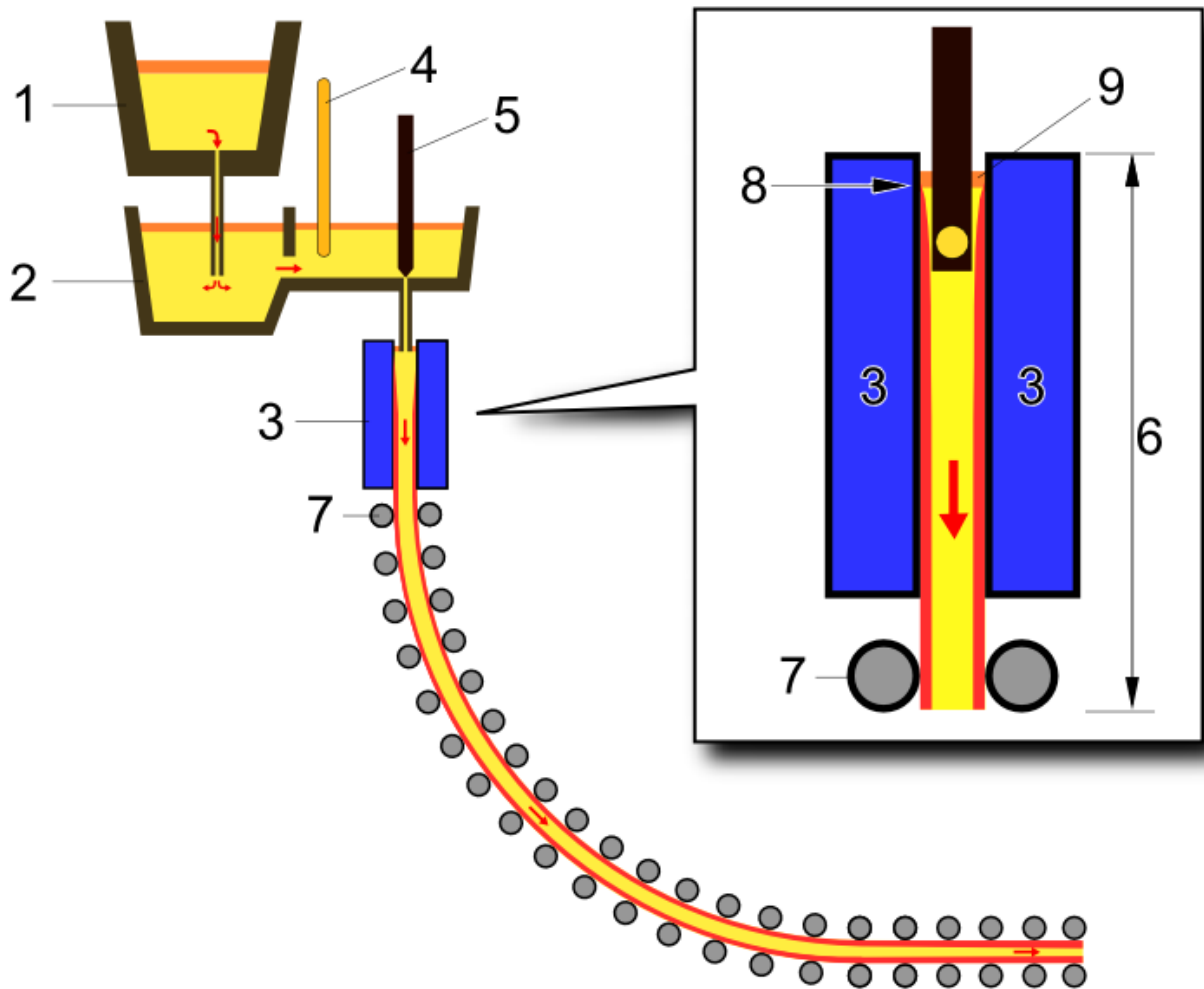


Рис. 1.1 – Схема установки непрерывного литья заготовок:

1 — сталерозливний ківш, 2 — проміжний ківш, 3 — мідяний кристалізатор, 4 — нагрівальний пристрій для підтримки температури, 5 — стопор, 6 — зона первинного охолодження і початку кристалізації, 7 — ролики, що тягнуть зливоч, 8 — зона початку кристалізації, 9 — рівень рідкого металу. [19]

При безперервному розливанні розплавлений метал заливається у кристалізатор, який зазвичай виготовляється з міді. Для охолодження стінок кристалізатора у ньому передбачено систему каналів, по яким неперервно циркулює вода. Перед запуском процесу лиття в кристалізатор вводиться тимчасова заглушка — «затравка». Метал охолоджується і починає тверднути при контакті зі стінками

кристалізатора, і заготовка починає виходити з кристалізатора із певною швидкістю. А у кристалізатор продовжується подача металу. Витрати металу підбираються таким чином, що рівень металу у кристалізаторі залишається незмінним протягом усього часу лиття. Для зниження навантаження на стінки кристалізатора, він здійснює зворотно-поступальні рухи у напрямку руху заготовки. Стінки кристалізатора додатково змащуються мастилами. За потреби кристалізатор герметизується введенням інертного газу або створенням шару штучного шлаку для додаткового захисту поверхні.

При виході з кристалізатора заготовка всередині ще розплавлена, тому після кристалізатора розміщена зона вторинного охолодження, де заготовка починає остаточне охолодження за допомогою води. Остаточно затвердівши, заготовка ділиться на менші заготовки необхідної довжини.

До 70-х років 20 століття в промисловості існували лише МНЛЗ вертикального типу, у яких заготовка формувалася і різалася на вертикальній лінії. Це ускладнювало виготовлення заготовок великої довжини, оскільки відстань між кристалізатором і зоною різання могла складати від 15 до 20 метрів, тоді вся машина лиття могла бути більше 40 метрів у довжину. Очевидно, що такі виробничі лінії вимагали будівництва спеціальних колодязів або веж. Для зменшення висоти МНЛЗ було розроблено установки радіального та криволінійного типів лиття. Спільним у них була наявність дуги, на якій були розташовані кристалізатор та засоби наступного охолодження, та роликів у кінці лінії для випрямлення заготовки. Але є і відмінності. У МНЛЗ радіального типу радіус дуги весь час є постійним і заготовка рівномірно вигинається, тоді як МНЛЗ криволінійного типу не мають константного радіусу кривизни: спочатку це один радіус, після охолоджувальних елементів радіус зростає і поступово перетворюється на пряму, де розташовані випрямні ролики.

Такі машини дають можливість значно скоротити висоту установок, до того ж через велика відстань ділянки різання від кристалізатора дозволяє розливати метал значно швидше.

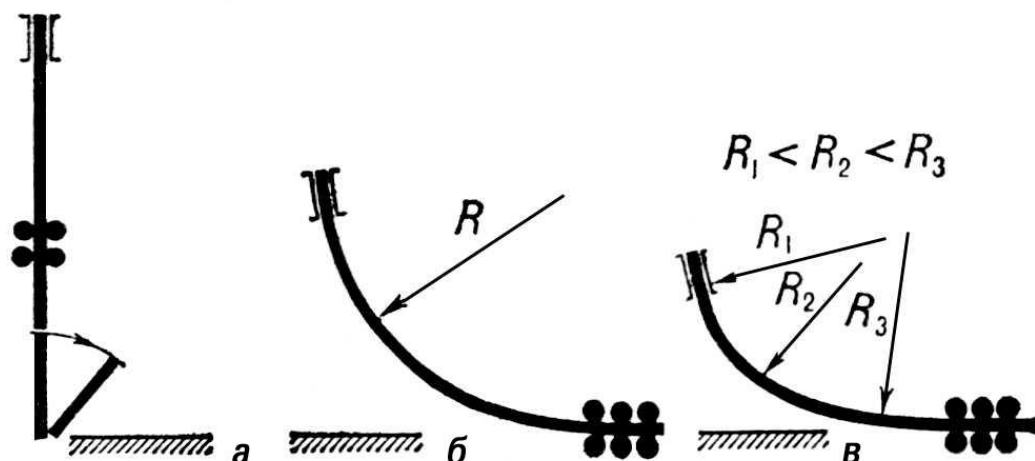


Рис 1.2 – класичні схеми МНЛЗ вертикального (а), радіального (б) та криволінійного (в) типів

На МНЛЗ відливаються заготовки квадратного перерізу розміром від 50х50 до 300х300 мм, плоскі сляби товщиною від 50 до 300 мм і шириною від 300 до 2000 мм, круглі заготовки (суцільні і з внутрішньою порожниною) діаметром від 100 до 550 мм, з яких отримують труби, сортовий і листовий прокат, поковки. Велика ступінь хімічної однорідності по довжині і поперечному перерізі заготовок, виготовлених за такою технологією, забезпечує стабільні механічні властивості і підвищує надійність роботи металовиробів. Завдяки своїм перевагам безперервне розливання сталі прийняте як основний спосіб розливання у всіх нових споруджуваних сталеплавильних цехах і буде широко використовуватися при реконструкції діючих заводів. Найбільша продуктивність МНЛЗ забезпечується при їх роботі в поєднанні з кисневими конвертерами. У цьому випадку досягається рівність циклів випуску сталі з конвертера і розливання її на МНЛЗ, завдяки чому рідкий метал може подаватися на установку безперервно протягом тривалого часу. У цехах з сучасними дуговими печами також може бути організоване розливання так званим методом «плавка на плавку» (одна установка безперервно приймає метал від декількох печей). Перспективні агрегати, в яких безперервне розливання сталі поєднується з безперервною прокаткою в єдиному потоці. При цьому знижуються витрати енергії, підвищуються якість злитка і вихід придатного, скорочується цикл

виробничих операцій від виплавки сталі до одержання готового прокату. Такі агрегати вже стали до ладу [2].

Метал, відлитий за допомогою неперервного лиття, демонструє рівні, а іноді навіть кращі властивості, показники якості, ніж звичайні злитки. Створені за допомогою МНЛЗ заготовки відрізняються більшою однорідністю структури, зниженням розподілення неметалів у злитку, відсутністю пористостей у структурі металу.

Виробництво заготовок на МНЛЗ, якщо порівнювати із литтям у виливниці, є значно простішим і потребує набагато менших витрат, відрізняється зниженням затрат трудових ресурсів, підвищенням продуктивності. Оскільки формування злитку не зупиняється, то раковина усадки в заготівці наявна тільки в задній частині заготовки, на відміну від звичайного лиття, за якого у кожного злитку наявні раковини з обох сторін. З цього можна зробити висновок, що машини безперервного розливання дозволяють суттєво підвищити рівень виходу металу порівнянні зі звичайними способами лиття. Машина безперервного лиття дозволяє отримувати заготовки широкого спектру перерізів (квадрат, коло, та ін.), при цьому і діапазон розмірів вражає (від 40×40 до 250×1000 мм). Отже, використовуючи машини неперервного лиття заготовок, можна виключити з циклу виробництва обтискні станки, що, в свою чергу, суттєво знижує вартість та спрощує технологію виробництва. Додавши сюди відсутність необхідності у канавах для виливниць, прокату на обтискних станках, можна зробити висновок, що машина неперервного лиття заготовок суттєво знижує вартість сталі, що дає можливість серйозно розглядати доцільність поширення застосування МНЛЗ як з технологічних, так і з економічних причин. Доцільним впровадження машин неперервного лиття буде на металургійних заводах з високою інтенсивністю виробництва. Впровадження МНЛЗ дасть суттєво скоротити площі цехів, витрати на будівництво та обсяг обладнання. Ціна питання при будівництві абсолютно нового заводу з використанням МНЛЗ з нуля незначною мірою відрізняється від ціни заводу без такої машини. Переваги використання МНЛЗ очевидні, охоплюють як технічні, так і економічні аспекти

виробництва. Тому неперервне розливання сталі є важливим досягнень та впроваджень у металургії за останні роки. [3].

1.2 Кристалізатор

Кристалізатор - мідна, порожниста зсередини ємність, що охолоджується водою, певної геометричної форми без дна, призначена для прийому розплавленого металу, що потрапляє в нього з проміжного ковша, а також переведення рідкої сталі в твердий стан за допомогою інтенсивного відводу тепла охолоджуючої рідиною (переважно водою).

На фото (рис. 1.3) представлений промисловий кристалізатор слябової машини неперервного лиття заготовок, сталь в який подається за допомогою спеціальної склянки (навколо кристалізатора знаходиться шлакоутворююча суміш).

Початок процесу утворення твердої скоринки при неперервному розливанні сталі відбувається у вигляді часткового охолодження меніска в області контакту розплавленого металу з кристалізатором (аж до появи твердої фази). Як показує практика, в процесі формування твердої кірки може проявлятися явище налипання розплаву на поверхню кристалізатора. В цьому випадку в кірці виникають напруження розтягу, що викликані рухом (витягуванням) заготовки з кристалізатора. У підсумку, в твердій кірці виникають розриви, які потім можуть призводити до розривів і витікання сталі з кристалізатору.



Рисунок 1.3 – кристалізатор слябової МНЛЗ

Запобігання прилипанню і подальшому розриву новоутвореної тонкої кірки постали під час переміщення заготовки, що кристалізується, - однієї з головних функцій роботи кристалізатора, яка вирішується за рахунок зворотно-поступального руху самого кристалізатора вгору-вниз у напрямку ходу заготовки, що витягається [4].

На машинах безперервного лиття заготовок застосовують вертикальні кристалізатори ковзання. Алюміній і його сплави відрізняються високою теплопровідністю, в зв'язку з чим злиток твердне швидко і глибина рідкої лунки в відлитому зливку мала. Тому кристалізатори для лиття алюмінію і сплавів на його основі роблять короткими і нижче кристалізатора не передбачають протяжної зони вторинного охолодження. Застосовують два різновиди кристалізаторів ковзання для безперервного лиття алюмінію і сплавів на його основі - корпусні та гільзові, а також електромагнітні кристалізатори (без ковзання).

Корпусний кристалізатор ковзання (рисунок 1.4) складається з гільзи 2 і скріпленого з нею корпусу 1, в порожнину між якими подають воду, що охолоджує заготовку. Через похилу щілину 3 між низом гільзи і корпусом на злиток подається

вода, яка замінює систему вторинного охолодження, яка застосовується на УНРС. Корпус і гільзу виготовляють з алюмінієвих сплавів (гільзу з дюралюмінію), внутрішню поверхню гільзи полірують. Для виливки порожнистих зливків, застосовують кристалізатори, що відрізняються закріпленням в осьовій частині водоохолоджуваним стрижнем (дорн), так що між ним і гільзою утворюється кільцевий зазор, в який заливають метал.

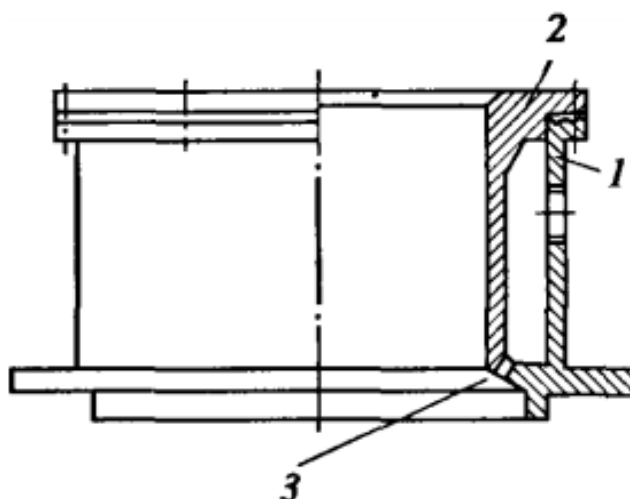


Рис 1.4 – корпусний кристалізатор ковзання для відливки злитків з круглим поперечним перерізом з алюмінієвих сплавів

Гільзовий кристалізатор являє собою гільзу, скріплену з охолоджувачем (коробкою), що охоплює її по периметру, з якого на зовнішню поверхню гільзи подають струменями воду (так зване спреїне охолодження). Висота кристалізаторів для відливу злитків з алюмінію і його сплавів становить 120-200 мм, швидкість розливання 0,03-0,2 м / хв.

Для безперервного лиття магнієвих сплавів застосовують схожі з вище описаними корпусні і гільзові кристалізатори, їх висота становить 200-270 мм, швидкість лиття знаходиться в межах 0,02-2 м / хв. Відливають круглі злитки діаметром 250-280 мм і прямокутні з розмірами від 160 x 550 до 300 x 900 мм.

Для лиття алюмінію і його сплавів застосовують електромагнітні кристалізатори (ЕМК). Основні елементи ЕМК (рисунок 1.5) - водоохолоджувальні

одновитковий індуктор 2 з мідної трубки прямокутного перетину, екран 1 і корпус 3 (опора), що має кільцеву порожнину для охолоджуючої води (на рисунку не показана); іноді нижче індуктора встановлений кільцевий охолоджувач 4.

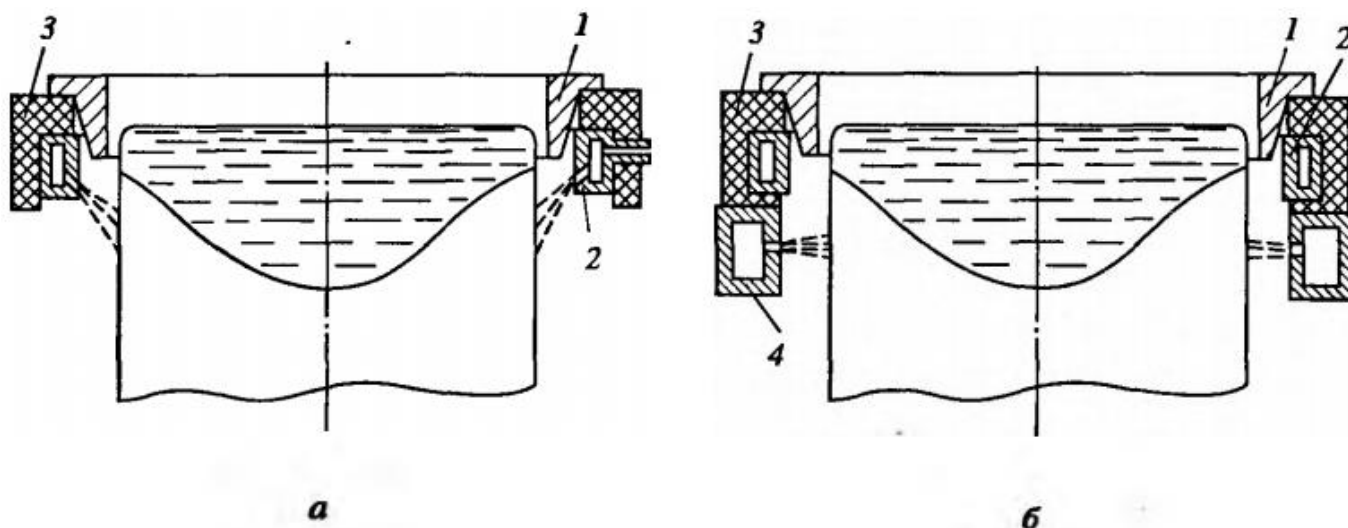


Рис 1.5- Електромагнітний кристалізатор

Екрани роблять зі сплаву алюмінію або корозійностійкої сталі. Екран в поперечному перерізі повторює форму індуктора, його вертикальна стінка має змінну товщину, звужуючись донизу; в потовщеній частині стінки передбачений кільцевий канал для охолоджуючої води. Іноді екран встановлюють на регулюючих опорах, що дозволяють рухати його по вертикалі.

На індуктор подають змінний струм підвищеної частоти (500-2500 Гц) з напругою 5-100 В. збуджує індуктором електромагнітне поле утримує над затверділим металом шар рідкого розплаву заввишки в декілька сантиметрів.

Металевий екран коригує розподіл електромагнітного поля і його підбирають так, щоб у взаємодії з електромагнітним полем індуктора забезпечувалася вертикально рівна поверхня стовпа рідкого металу. Затвердіння металу починається приблизно з рівня, що відповідає середині висоти індуктора. Відстань між стовпом рідкого металу і індуктором складає 20-30 мм, зазор між індуктором і екраном 3-10 мм, висота індуктора 25-50 мм.

Вода на поверхню злитка може подаватися під прямим кутом з кільцевого охолоджувача або ж похило в зазор між екраном і індуктором або з індуктора. Іноді під кристалізатором все ж встановлюють вторинне охолодження.

Як джерело живлення електромагнітних кристалізаторів (ЕМК) застосовують тиристорні перетворювачі.

Діаметр круглих злитків, що відливаються в ЕМК, становить 14-800 мм, плоскі злитки мають товщину до 400, ширину до 1800 мм.

Головна перевага ЕМК - відсутність механічного взаємодії зі стінками кристалізатора, завдяки чому забезпечується гладка поверхня злитка без дефектів.

Кристалізатори для лиття важких кольорових металів (міді, нікелю і сплавів на їх основі) роблять з внутрішніми робочими стінками з міді, закріпленими шпильками в металевому корпусі товщиною 10-20 мм. Кристалізатори для плоских злитків виготовляють складовими з чотирьох стінок, (рідко застосовують моноблочні мідні кристалізатори). Робоча стінка кристалізатора для круглих злитків є круглою гільзою.

Застосовують однокамерні (малюнок 1.6, а) кристалізатори з широким (12-30 мм) каналом для води між робочою стінкою і корпусом і двокамерні (малюнок 1.6, б) з вертикальною перегородкою 3 між мідної стінкою і корпусом; в цьому випадку вода у мідних стінках рухається по вузьких каналах.

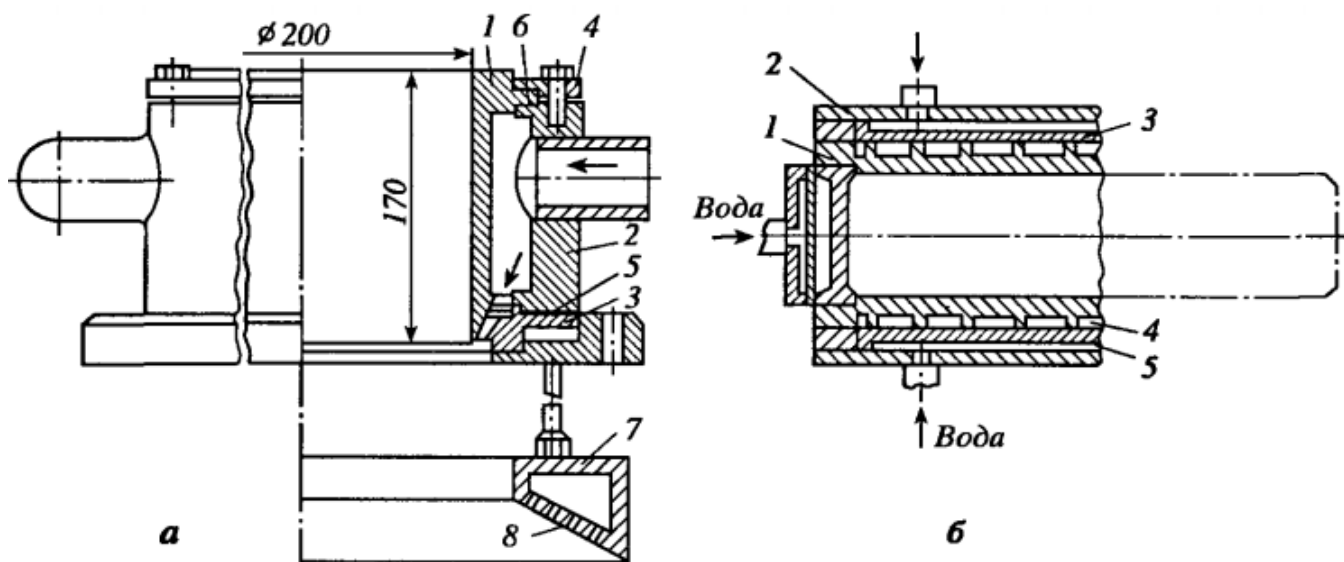


Рис 1.6 - Кристалізатори для лиття міді і її сплавів а - однокамерний для відливання круглих злитків: 1 - гільза; 2 - корпус; 3, 4 - нижню і верхню кільця корпусу; 5 - 6 - прокладки; 7 - спреєр вторинного охолодження; 8 - отвори для подачі води; б - двокамерний для відливання плоских злитків: 1 - мідна стінка; 2 - сталева плита; 3 - перегородка; 4 - канали для води; 5 - камера для води

Знаходять застосування кристалізатори з спреєрним (струменевим) охолодженням мідних стінок. Все кристалізатори забезпечені знизу похилими отворами для подачі струменів води на злиток (вторинне охолодження) [5].

1.3 Існуючі системи діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора

Ergolines

Система (рис. 1.7) складається з сенсора – акселерометра, закріпленого у захисному корпусі, з'єднувального кабелю і портативного комп'ютера з завантаженим програмним забезпеченням. Система дозволяє контролювати ряд параметрів, серед яких: перевірка характеру коливань, відповідність параметрів коливань заданим, вірогідність налипання металу на стінки кристалізатора. Система розроблена як для короткочасного контролю, так і для стаціонарного розміщення для постійного контролю [6].



Рис 1.7 – Загальний вигляд системи

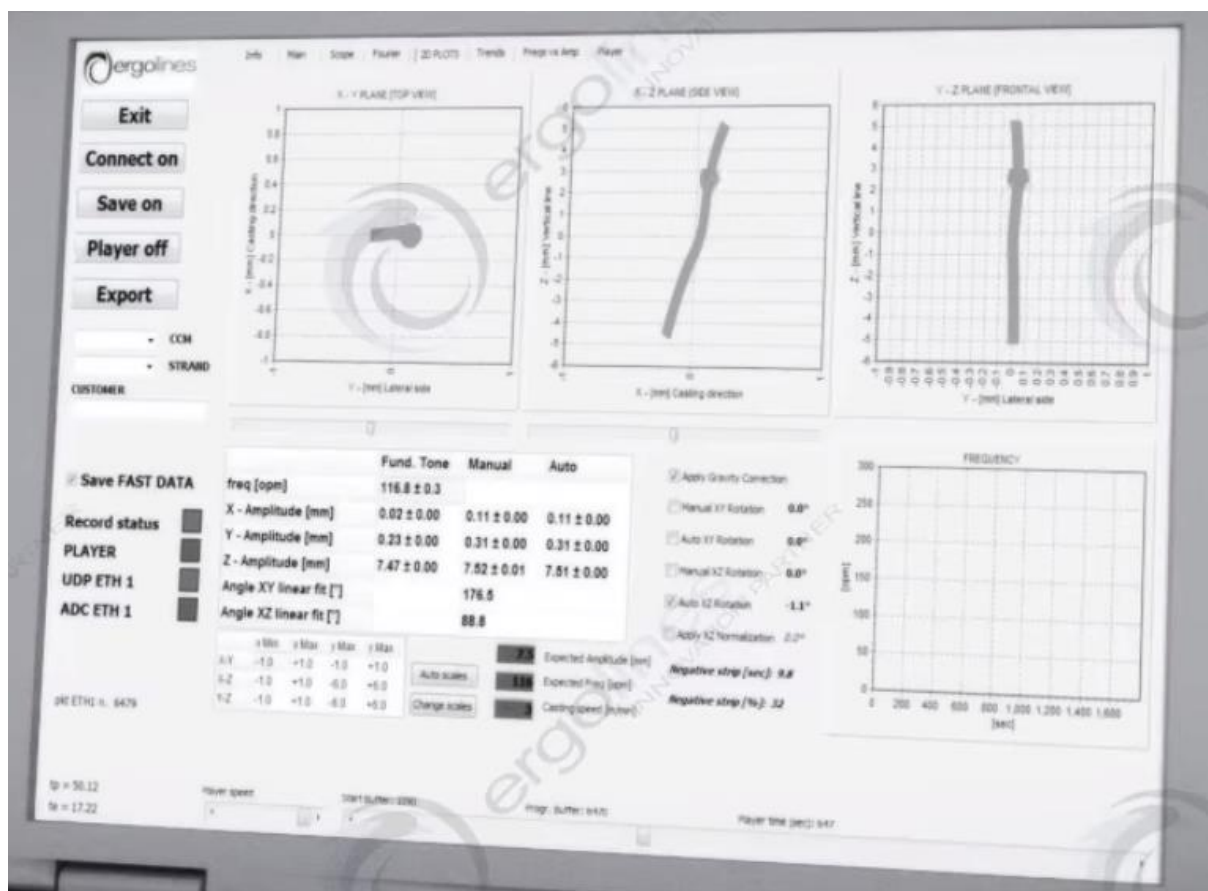


Рис 1.8 - Графіки амплітуд переміщень по трьом парам координатних осей

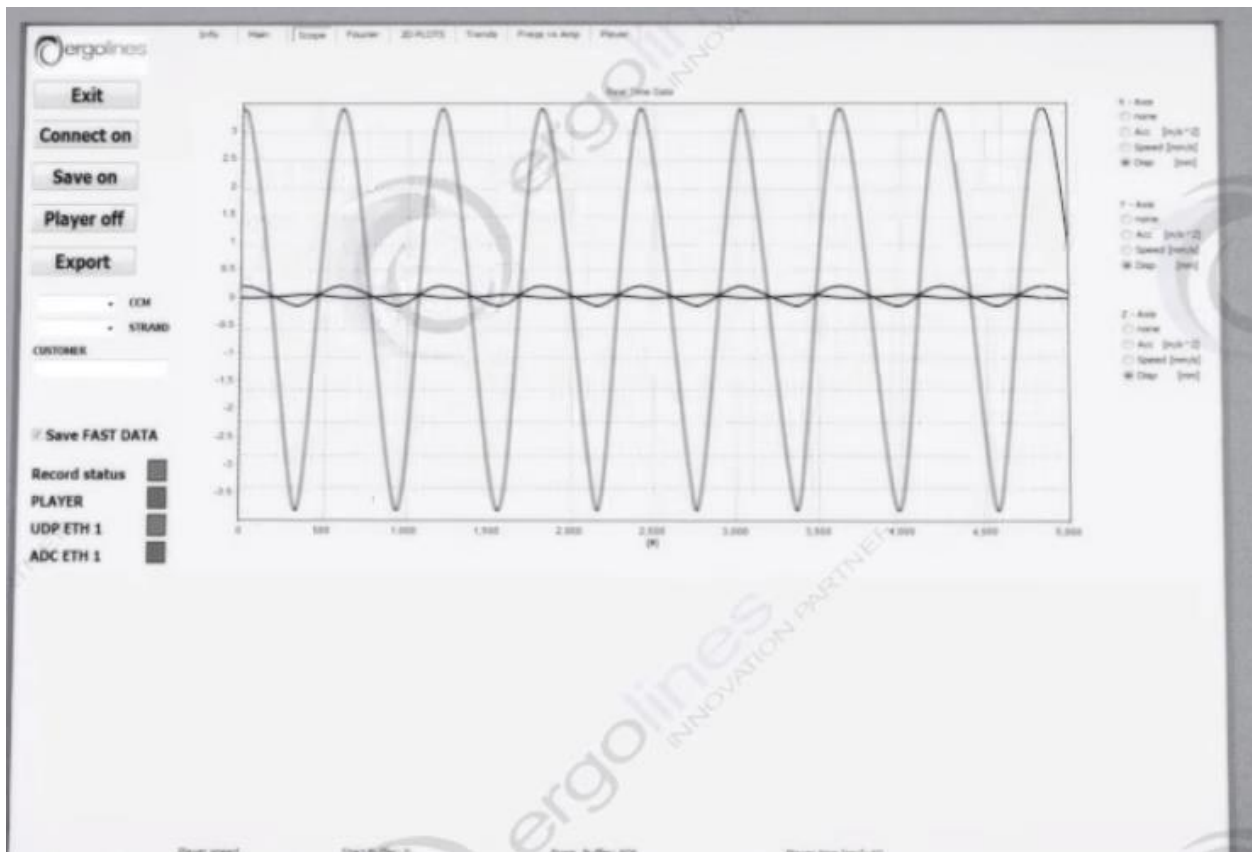


Рис 1.9 - Характеристики коливального процесу

Таблиця 1.1 Технічні характеристики системи Ergolines

Частота вимірювань	1 ÷ 10 Гц (60-600 вимірів/хвилину)
Амплітуда коливань	± 10 мм
Діапазон температур	0 ÷ 80 °C
Ступінь захисту	IP 67
Розміри сенсора	80 мм × 150 мм
Вага сенсора	2.5 кг

Vatron (рис. 1.10)

Один з лідерів на ринку, має представництва у багатьох країнах світу, велику кількість клієнтів. У реальному часі дозволяє відстежувати будь-які відхилення від заданої ідеальної кривої за координатами x, y і z. Програмне забезпечення з великою точністю аналізує дані, можливе підключення приладу до принтеру і роздрук даних.

Переваги

- Вимірювання прямолінійних і криволінійних коливань
- Визначення синусоїдальних і несинусоїдальних зсувів
- Малий час контролю (5-10 секунд)
- Проста процедура контролю в реальному часі
- Наочність при відображенні результатів вимірювань
- Велика кількість референцій по всьому світу



Рис 1.10 – Фото системи контролю фірми Vatron

KT450 FieldSERVICE

Система контролю KT450 (рис 1.11) являє собою портативну систему, що складається з промислового ноутбука, високотемпературних системних кабелів і чотирьох компактних датчиків з магнітними кріпленнями для швидкого оцінювання і складання звіту про стан осцилятора. Прилад може бути частиною програми

прогностичного обслуговування і використовуватися як для перевірок стану МНЛЗ для планового контролю, так і для простої оцінки умов експлуатації.

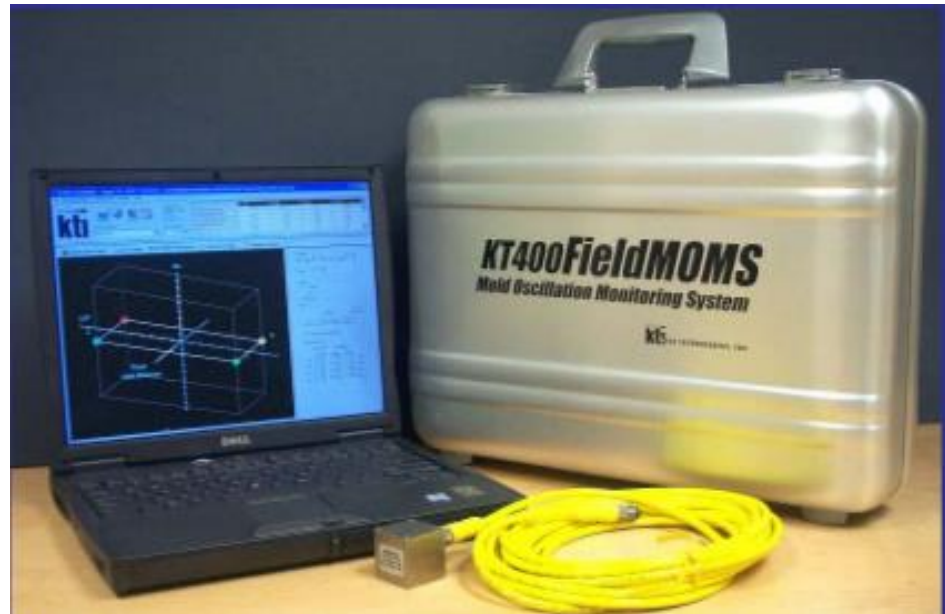
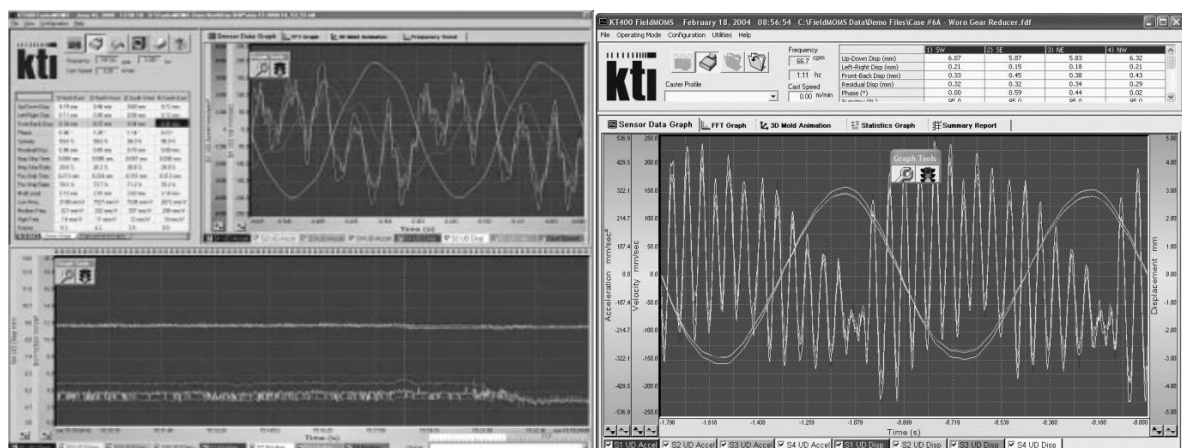


Рис 1.11- Комплект вимірювальної системи KT450

KT450 FieldMOMS дозволяє проводити огляд в обох режимах роботи МЛНЗ: механічний огляд на холостому ході, а також короткострокові вимірювання в режимі онлайн, під час лиття.



а)

б)

Рис 1.12 – Система контролю і діагностики фірми “KISS Technologies”:
а – моніторинг параметрів руху кристалізатора, б – вібропереміщення та віброприскорення точок контролю у вертикальній площині в часовій області

Переваги використання:

- виявлення механічних недоліків;
- визначення пріоритетності обслуговування;
- порівняння режимів холостого ходу з режимом лиття;
- оцінювання характеристик коливань.

Контролер хитання виробництва фірми Siemens



Рис 1.12 – Система контролю Siemens

Система, зображена на рис. 1.12, записує дані для визначення механічного стану всього коливального блоку. Засоби вимірювання розміщуються на прес-формі. Датчики вимірюють прискорення у всіх трьох просторових напрямках. Ці дані

використовуються для оцінки руху форми. Будь-яке відхилення від ідеальної кривої (x , y і z) і детальний аналіз показано в реальному часі.

- підходить для сляба і неперервного лиття;
- використовується для прямих і криволінійних коливань, можливий контроль синусоїдних і несинусоїдних рухів;
- можливість використання до 4 датчиків вимірювання;
- портативна установка (можлива розробка і стаціонарної версії);
- можливість налаштування металургійних параметрів (наприклад, несинусний фактор, час негативної смуги, фазовий зсув);
- інтелектуальна перехресна перевірка з моделлю твердого тіла; висока точність (по вертикалі 50мкм / 20мкм по горизонталі) [7].

Авторами статті [8] описана система контролю що базується на зчитуванні сигналу прискорення з групи датчиків, розміщених на кристалізаторі і подальшого інтегрування. Таким чином на виході системи створюється масив даних про переміщення точок кристалізатора в часі.

Пропонується доопрацювання системи шляхом використання додаткового акселерометра як повірочного, що дає змогу реалізувати алгоритм самодіагностики. Таким чином, вирішується задача контролю правильності показів акселерометрів, що забезпечує підвищення точності роботи системи та створює передумови для раннього запобігання появі хибних показів через несправність якогось із чутливих елементів.

1.4 Вимірювання параметрів руху системи

1.4.1 Загальна інформація

З усіх відомих типів датчиків, найбільш широке застосування знаходять п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі прискорення або акселерометри, які відносяться до датчиків генераторного типу і безпосередньо перетворюють вібраційне або ударне прискорення в пропорційний електричний сигнал.

П'єзоелектричні акселерометри мають наступні переваги:

- широкий робочий діапазон частот;
- лінійність амплітудної характеристики (АХ) в широкому динамічному діапазоні;
- висока стійкість до зовнішніх впливів;
- активний характер перетворення, що не вимагає застосування джерела живлення;
- відсутність рухомих частин, що гарантує високу надійність і довговічність;
- можливість реалізації малогабаритного виконання;
- технологічність у виробництві.

Вихідний сигнал акселерометра, пропорційний значенню прискорення механічних коливань, легко може бути перетворений електричним шляхом в сигнал, пропорційний віброшвидкості або вібропереміщенню. Метрологічні і експлуатаційні характеристики акселерометрів перш за все залежать від властивостей використовуваного п'єзоматеріалу (ПМ) і конструктивних особливостей електромеханічного перетворювача, а також датчика в цілому.

1.4.2 Основні вимірювані параметри віброколивань

Самою простою вібрацією є гармонійна, коли тіло здійснює синусоїдальні коливання. При цьому зміщення коливної точки s (вібропереміщення) в момент часу t

$$s = s_a (\sin \omega t + \varphi), \quad (1.1)$$

або

$$s = s_a (\cos \omega t + \varphi), \quad (1.2)$$

де s_a - амплітуда зміщення;

$\omega = 2\pi f$ - кругова частота коливань;

$f = 1/\tau$ - частота коливань;

τ - період коливань;

φ - початкова фаза коливань.

На практиці віброметрії зустрічається необхідність вимірювання різних параметрів вібрації, які відносяться до зміщення і до його похідних за часом - віброшвидкості, віброприскорення, різкості, а також частоти основного коливання, спектрального складу і деяких інших, в залежності від завдання проведеного вимірювання [9].

Віброшвидкість v визначається як перша похідна зміщення по часу, віброприскорення a - як друга похідна, третю похідну іноді називають різкістю:

$$v = \frac{ds(t)}{dt} = \omega s_a \cos(\omega t + \varphi) = v_a \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}), \quad (1.3)$$

$$a = \frac{d^2s(t)}{dt^2} = -\omega^2 s_a \sin(\omega t + \varphi) = -a_a \sin(\omega t + \varphi) = -\omega^2 s, \quad (1.4)$$

$$u = \frac{d^3s(t)}{dt^3} = -\omega^3 s_a \cos(\omega t + \varphi) = -u_a \sin(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}), \quad (1.5)$$

де v_a , A_a і u_a - амплітудні значення швидкості, прискорення і різкості, відповідно.

З (1.1), (1.3) - (1.5) випливає, що вектор швидкості гармонійних коливань випереджає вектор зміщення на $\pi/2$ і відстає від вектора прискорення також на $\pi/2$. Коливальне прискорення і зміщення, а також швидкість і різкість знаходяться попарно в протифазі (рис. 1.13). Амплітуди зміщення, швидкості, прискорення і різкості пов'язані співвідношеннями

$$\frac{1}{\omega} u_a = a_a = \omega v_a = \omega^2 s_a. \quad (1.6)$$

Для більш повного розуміння впливу вібрації необхідно також знати значення і напрямок результуючого вектора вібрації або його проекцій в обраній системі координат [10].

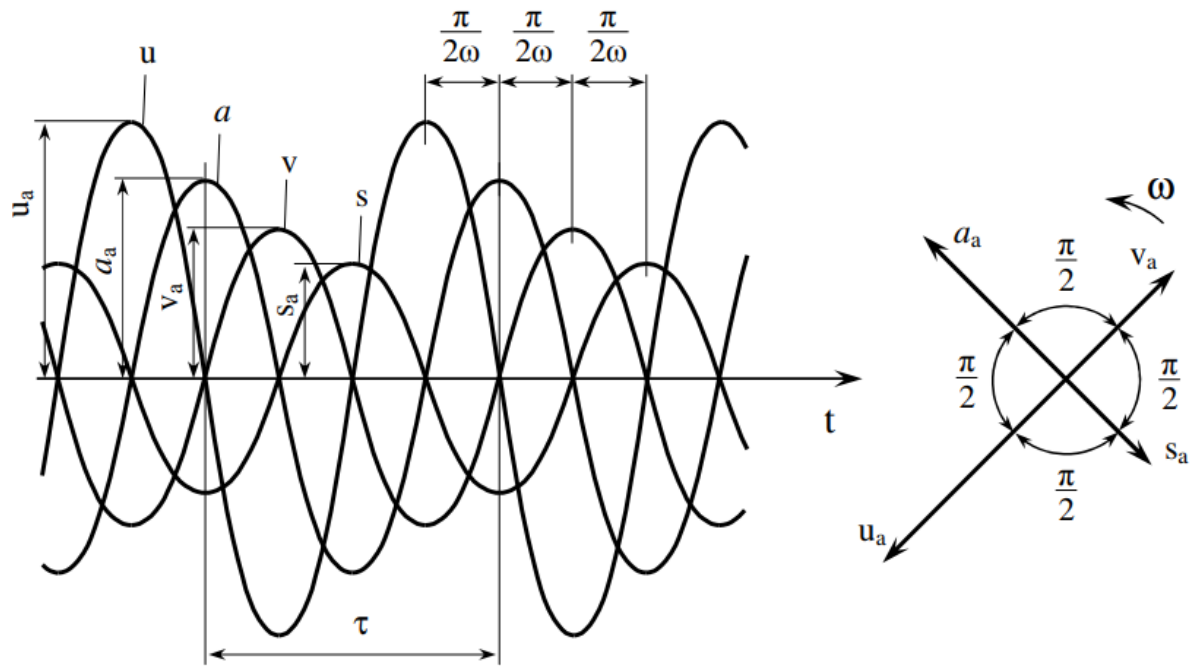


Рис. 1.13. Фазові співвідношення між зміщенням s , швидкістю v , прискоренням a і різкістю u гармонійного коливання

1.5 Машинне навчання

1.5.1 Загальні відомості

Машинне навчання (англ. machine learning) — це підгалузь штучного інтелекту в галузі інформатики, яка часто застосовує статистичні прийоми для надання комп'ютерам здатності «навчатися» (тобто, поступово покращувати продуктивність у певній задачі) з даних, без того, щоби бути програмованими явно [11].

Назву «машинне навчання» (англ. machine learning) було започатковано 1959 року Артуром Семюелем. Еволюціонувавши з досліджень розпізнавання образів та теорії обчислювального навчання в галузі штучного інтелекту, машинне навчання досліджує вивчення та побудову алгоритмів, які можуть навчатися й робити передбачення з даних [12], — такі алгоритми долають слідування строго статичним програмним інструкціям, здійснюючи керовані даними прогнози або ухвалювання рішень шляхом побудови моделі з вибірових входів. Машинне навчання

застосовують в ряді обчислювальних задач, в яких розробка та програмування явних алгоритмів з доброю продуктивністю є складною або нездійсненною; до прикладів застосувань належать фільтрування електронної пошти, виявлення мережних вторгників або зловмисних інсайдерів, що добуваються витоків даних оптичне розпізнавання символів (ОПС), навчання ранжуванню та комп'ютерний зір [13].

Машинне навчання тісно пов'язане (та часто перетинається) з обчислювальною статистикою, яка також зосереджується на прогнозуванні шляхом застосування комп'ютерів. Воно має тісні зв'язки з математичною оптимізацією, яка забезпечує цю галузь методами, теорією та прикладними областями. Машинне навчання іноді об'єднують з добуванням даних, де друга підгалузь фокусується більше на розвідувальному аналізі даних, і є відомою як навчання без учителя. Машинне навчання також може бути спонтанним, і застосовуваним для навчання та встановлення базових характеристик поведінки різних суб'єктів, а потім застосовуваним для пошуку виразних аномалій.

В межах галузі аналізу даних машинне навчання є методом, який використовується для винаходження складних моделей та алгоритмів, які слугують прогнозуванню — в комерційному застосуванні це відоме як передбачувальна аналітика. Ці аналітичні моделі дозволяють дослідникам, науковцям з даних, інженерам та аналітикам «виробляти надійні, повторювані рішення та результати» та розкривати «приховані розуміння» шляхом навчання з історичних співвідношень та тенденцій в даних [14].

Основні стандартні типи задач для машинного навчання:

- **Навчання з учителем** (supervised learning) – на практиці використовується частіше за все. Масив вхідних даних представлено як пари «значення, відповідь». Завданням системи є знайти таку залежність між параметрами об'єкту і відповіддю і розробити такий алгоритм, що, отримавши опис об'єкту, даватиме відповідь. Показником якості такої системи зазвичай є середнє квадратичне відхилення по всіх об'єктах.

- *Завдання класифікації* (classification) характеризується тим, що існує скінчена кількість допустимих відповідей (мітки класів (class label)). Класом у даному випадку називається множина об'єктів, у яких значення мітки збігаються.

- *Завдання регресії* (regression) – відповіддю моделі є число або масив чисел.

- *Завдання ранжирування* (learning to rank) – існує множина об'єктів-відповідей, завданням моделі є дати оцінку вхідних даних відносно кожного об'єкта і вивести підсумковий результат. Іноді узагальнюється до класифікації або регресії. Застосовується в аналізі текстів та зображень.

- *Завдання прогнозування* (forecasting) має на меті зробити прогноз відносно майбутнього стану системи. Вхідними даними для моделі є часові відрізки.

- **Навчання без вчителя** (unsupervised learning) - інший базовий тип навчання, що має на меті пошук залежностей між об'єктами, а не їх класифікацію.

- *Завдання кластеризації* (clustering) вирішує проблеми групування об'єктів у кластери на основі інформації про пари об'єктів, що схожі між собою. Показниками якості можуть бути різні фактори, наприклад : відношення відстаней у кластері та між кластерами.

- *Завдання пошуку асоціативних правил* (association rules learning) – об'єктом є група ознак, що описує його. Суть методу у знаходженні таких наборів ознак та їх величин, що найчастіше зустрічаються в описах об'єктів.

- *Задача фільтрації викидів* (outliers detection) полягає у знаходженні серед групи однотипних об'єктів у навчальній вибірці певної кількості нетипових об'єктів. Іноді пошук таких об'єктів є самоціллю (виявлення шахраїв, наприклад). Проте переважно такі об'єкти викликані помилками в роботі моделі або даних, тобто є звичайним шумом. Очевидно, що такі дані мають видалені з масиву навчальної вибірки для підвищення точності роботи моделі.

- *Завдання побудови довірчої області (quantile estimation)* – мова йде про область мінімального розміру, яка містить задану долю вибірки і має згладжену межу.

- *Завдання скорочення розмірності (dimensionality reduction)* полягає у скороченні кількості ознак на основі даних про вихідні ознаки об'єкта використовуючи ряд функцій-перетворювачів. Важливим є збереження суттєвої інформації про вибірку без втрат.

- *Завдання заповнення пропущених значень (missing values)* – прогноз значень для відсутніх елементів серед об'єктів через їх ознаки.

- **Часткове навчання (semi-supervised learning)** – середня ланка між методами навчання з учителем та без нього. Об'єкту у відповідність ставиться відповідь, проте відповідь відома не для всіх об'єктів. Приклад використання – автоматизація визначення жанру великої кількості книг, коли відомо жанри лише декількох з них.

- **Трансдуктивне навчання (transductive learning).** По визначеній кількості об'єктів у навчальній вибірці необхідно зробити передбачення стосовно тестової вибірки – даних, що раніше не були відомі системі. Часто трансдуктивне навчання не відрізняють від часткового навчання. Відмінністю є те, що нема необхідності виявляти закономірності для подальшого прогнозу, оскільки тестовий набір даних один.

- **Навчання з підкріпленням (reinforcement learning).** В даному випадку об'єктом є пара «ситуація - рішення». Відповіддю системи є величина показника якості, яка показує вірність прийнятого рішення (реакцію середовища на дії моделі). Суттєвим є фактор часу, як і у задачі прогнозування. Прикладами задач з підкріпленням є: складання стратегій інвестування, автоматизація технологічних процесів, самодіагностика та навчання роботів, тощо.

- **Динамічне навчання (online learning)** може бути з вчителем, так і без. Особливістю є потоковість надходження блоків з об'єктами. Система повинна приймати рішення на основі отриманих щойно даних і одночасно з цим

вдосконалювати власну модель залежно від нових даних. Фактор часу, як і при прогнозуванні, є істотним і тут.

- **Активне навчання** (active learning) відрізняється від динамічного можливістю для моделі обирати наступний об'єкт, по якому буде проходити навчання.

- **Метанавчання** (meta-learning або learning-to-learn) – об'єктами навчання є раніше вирішені об'єкти навчання. Завданням є визначення ефективності роботи евристичного алгоритму, що лежить в основі моделі. У підсумку, задачею мета навчання є забезпечення самовдосконалення алгоритму моделі у часі.

- *Багатозадачне навчання* (multi-task learning). Множина подібних завдань навчання розв'язується одночасно, використовуючи різні алгоритми, які, однак, схожі структурно. Подібність задач між собою дає можливість ефективніше вдосконалювати алгоритм і прискорити вирішення пріоритетної задачі.

- *Індуктивне перенесення* (inductive transfer). Інформація про розв'язання окремих задач по прецедентах проектується на вирішення наступних завдань навчання. Так званий «досвід» зберігається із застосовуються реляційних структур збереження інформації (наприклад, бази даних).

- *Побудову алгоритмічних композицій* тако іноді відносять до метанавчання, зокрема, бустінг; проте відмінністю між ними є те, що метанавчання передбачає розв'язання декількох різних завдань, а в композиціях різні алгоритмів вирішують одну задачу [15].

У статті [16] практично доведено, що машинне навчання може успішно використовуватись для розпізнавання стану механізму хитання машини безперервного лиття заготовок за спектром прискорень. Запропоновано метод розпізнавання несправного стану механізму хитання за спектром сигналу прискорень, який може використовуватись разом з аналізом інших параметрів хитання.

Показники якості для моделі, створеної за технологією машинного навчання:

- При навчанні з учителем - показник якості може визначатися як середня похибка відповідей. Передбачається, що шуканий алгоритм повинен його мінімізувати. Для запобігання перенавчання у мінімізуючий показник якості часто в явному або неявному вигляді додають регуляризатор.
- При навчанні без учителя – показники якості можуть визначатися порізному, наприклад, як відношення середніх міжкластерних і внутрішньокластерних відстаней.
- При навчанні з підкріпленням - показники якості визначаються фізичним середовищем, яке здатне показати наочно і дозволити оцінити здатність агента адаптуватися і виживати.

1.5.2 Засоби оцінки точності та покращення роботи моделі. Крос-валідація

Використовуючи певний набір даних, можна оцінити якість роботи моделі. Для цього використовуються методи ресемплінгу, такі як крос-валідація та бустреп. Оцінка необхідна для того, щоб налаштувати параметри моделі і переконатися у вірності результатів її роботи не використовуючи при цьому додатковий тестовий набір даних. Розглянемо принцип роботи крос-валідації та основні її види:

- **k-блокова крос-валідація (k-fold cross-validation).** Суть методу у випадковому розбиванні масиву тренувальних даних на k блоків приблизно однакових за обсягом, що не пересікаються між собою. Далі по черзі обирається один валідаційний блок, решта – використовуються для навчання. Після навчання проводить оцінка валідаційного блоку. Оцінюється відповідь моделі, повторюється весь процес але вже з іншим блоком в якості валідаційного. Серед отриманих відповідей розраховується середнє значення, яке і є підсумковою оцінкою роботи моделі. Якщо k дорівнює кількості елементів у вихідному наборі даних, цей метод називається крос-валідація по окремих елементах (leave-one-out cross-validation).

- **Багаторазова k-блокова крос-валідація (repeated k-fold cross-validation).** Аналог k-блокової валідації, проте процес валідації повторюється декілька разів.

- Крос-валідація на основі методу Монте-Карло (МККВ, Monte Carlo cross-validation, leave-group-out cross-validation). Визначається кількість ітерацій, протягом яких масив даних розбивається випадковим чином на навчальну та валідаційну частини у певній пропорції.

- Бутстреп (bootstrap). Аналог методу Монте-Карло, проте навчальна вибірка в даному методі формується з поверненням елементів. Тобто, елементи можуть повторюватися в рамках навчальної вибірки. Дані, що не були включені у навчальну вибірку, використовуються як валідаційна вибірка.

Вибір методу оцінки залежить від обсягу даних і деяких інших чинників. У сфері статистики для аналізу методів використовуються їхні робочі характеристики. Кожен з описаних вище методів, можна охарактеризувати за допомогою зміщення (bias) і дисперсії (variance).

Припустимо, перед нами стоїть завдання регресії, і ми оцінюємо модель на основі СКВ. Припустимо також, що для наших даних існує деякий «справжнє» значення СКВ, яке може забезпечити дана модель. Тоді зміщенням буде різниця між істинним СКВ і СКВ, отриманим за допомогою даного методу ресемплінгу. Зсув (bias) характеризує правильність (accuracy) оцінки. Дисперсія (variance) характеризує точність (precision) оцінки. Різні методи ресемплінгу мають різне зміщення і дисперсію.

Уявімо, що справжнє СКВ знаходиться в центрі мішені. Уявімо також, що ми маємо 4 різних методи ресемплінгу. Наступний малюнок дозволяє порівняти різні поєднання правильності (accuracy) і точності (precision).

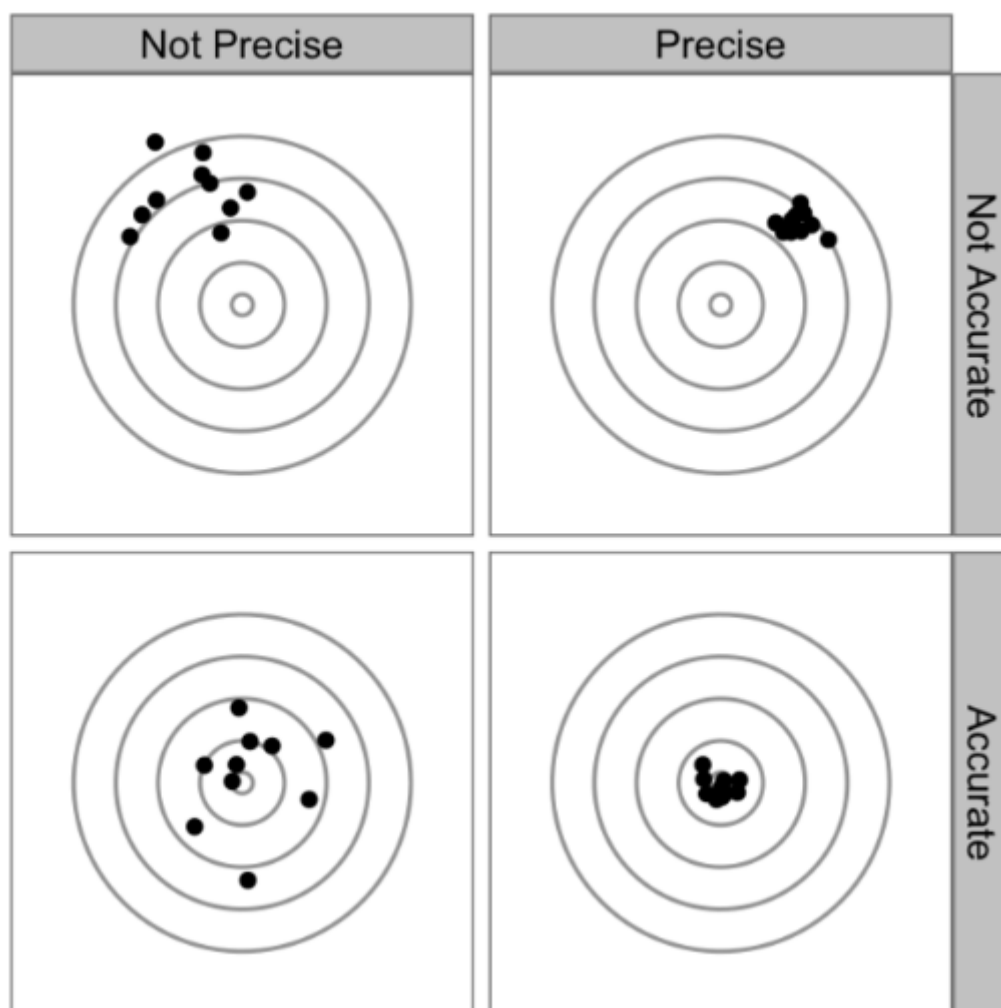


Рис 2.5- Діаграма розкиду СКВ для різних методів ресемплінгу: Not Precise – неточно; Precise – точно; Not Accurate – неправильно; Accurate – правильно

Очевидно, що найкращий результат представлений в правому нижньому кутку.

Вважається, що в загальному випадку зміщення методу ресемплінгу залежить від розміру валідаційної вибірки. Якщо розмір валідаційної вибірки становить 50% вихідних даних (2-блокова крос-валідація), підсумкова оцінка СКВ буде більш зміщеною, ніж в разі, коли цей розмір становить 10% вихідних даних. З іншого боку, відповідно до загальноприйнятої точки зору, менший розмір валідаційної вибірки збільшує дисперсію, оскільки кожна валідаційна вибірка містить менше даних для отримання стабільного значення СКВ.

1.6 Висновки до розділу 1

Існують машини неперервного лиття заготовок, що призначені для виготовлення заготовок без виготовлення індивідуальної форми, а витягування довгої заготовки, що потім розрізається. Основною функціональною частиною машин неперервного лиття заготовок є кристалізатор, що формує переріз заготовки та задає якість поверхні металу, що тільки починає кристалізуватися. Траєкторія та режими руху кристалізатора потребують ретельного контролю, оскільки ці параметри напряму впливають на якість вихідного матеріалу – заготовок.

Розроблені стаціонарні та мобільні системи контролю параметрів руху кристалізатора. Більшість з них базуються на однакових принципах роботи, конструктивно схоже виконані та мають подібні алгоритми обробки зчитаних даних. Недоліками таких систем є: дороговизна; необхідність обслуговування техніком-спеціалістом від фірми; закритість даних вимірювань; відсутність можливості адаптувати систему контролю під інші умови виробництва. З наведених недоліків випливає, що підприємство має або витратити значні кошти на встановлення обладнання та навчання власних інженерів навичкам роботи з ним, або на виклики техника-спеціаліста для налагодження, контролю і моніторингу стану МНЛЗ. Також у робітників підприємства не буде можливості детально дослідити результати моніторингу через закритість системи.

Ливарні підприємства широко поширені як на Україні, так і в інших країнах, тому розробка подібної системи, як і модернізація існуючих, вважається актуальною задачею.

Як чутливий елемент системи, рекомендується використовувати п'єзоелектричний акселерометр, оскільки його метрологічні характеристики дозволяють забезпечити необхідну точність, а умови експлуатації дозволяють використовувати дані акселерометри в умовах агресивного середовища ливарного цеху.

Відомі дослідження та експерименти із застосуванням технології машинного навчання для діагностики стану системи хитання кристалізатора МНЛЗ. Авторами використовувалися готові програмні пакети, що по спектру прискорень складають характеристичну картину стану механізму хитання кристалізатора МНЛЗ і дають у підсумку оцінку якості.

2. Науково-дослідницька частина

2.1. Складання алгоритму роботи системи контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ

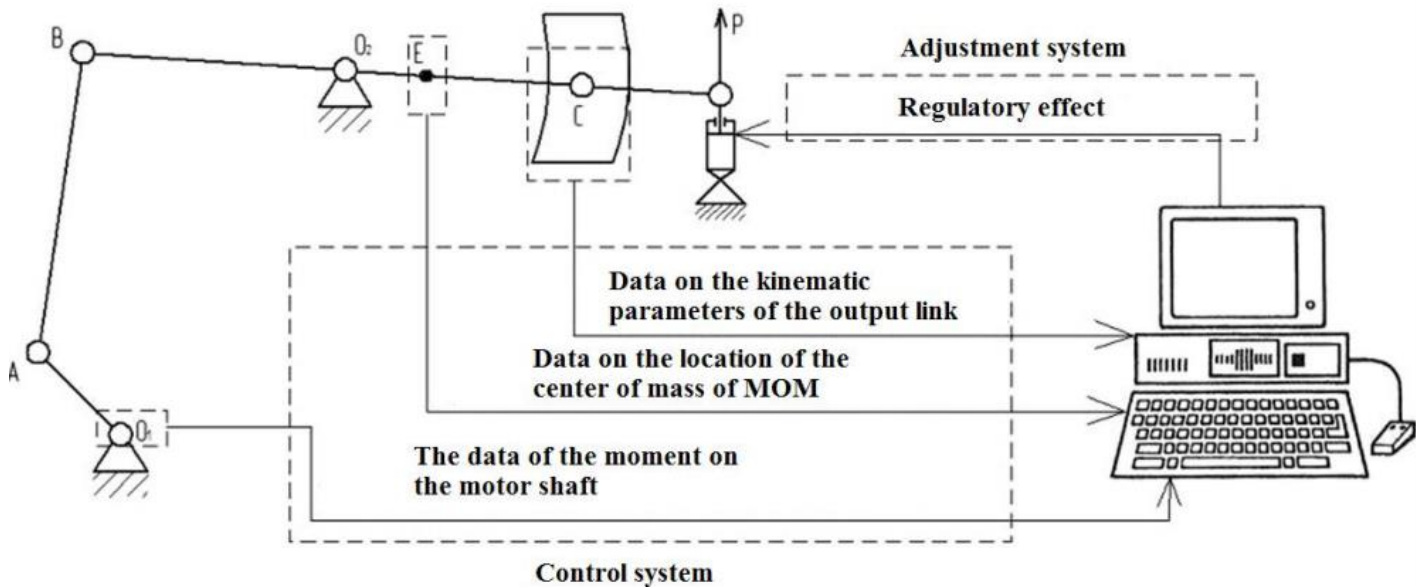


Рис 2.1. Структурна схема системи контролю параметрів руху кристалізатора

2.1.1. Складання алгоритму роботи діагностичної моделі для системи контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ

Базуючись на відомих прикладах машинного навчання, зроблено ряд висновків і вимог до моделі.

Програма має виконувати дві функції – запускати процедуру навчання і проводити діагностику за введеними даними і коефіцієнтами ваги моделі, отриманими під час навчання.

В рамках магістерської дисертації для тренування моделі розроблено класичний лінійний класифікатор, що приймає на вхід в якості параметрів спектр частот сигналу, зчитаного датчиками, та амплітуду і частоту сигналу, який було задано для двигуна, що забезпечує рух кристалізатора.

Процес тренування полягає у багатократному пропусканні через модель тренувального набору даних. Після кожного «проходу» оцінюється результат роботи моделі як середньоквадратичне відхилення бажаного результату від отриманого, після чого проводиться перерахунок вагових коефіцієнтів залежно від ступеню відхилення від норми і процедура повторюється. Кількість ітерацій визначається напряму, або через величину відхилення отриманих значень (наприклад, якщо користувача задовольняє точність 80%, процес навчання завершиться на моменті, коли похибка результату моделі становитиме менше 20%).

Процес діагностики аналогічний процесу тренування: система обирає вагові коефіцієнти не випадковим чином, а завантажує визначені раніше, під час навчання. Далі зчитується вхідний набір даних і відбувається процес оцінки.

На рисунку 2.2 зображено алгоритм роботи програми діагностики.

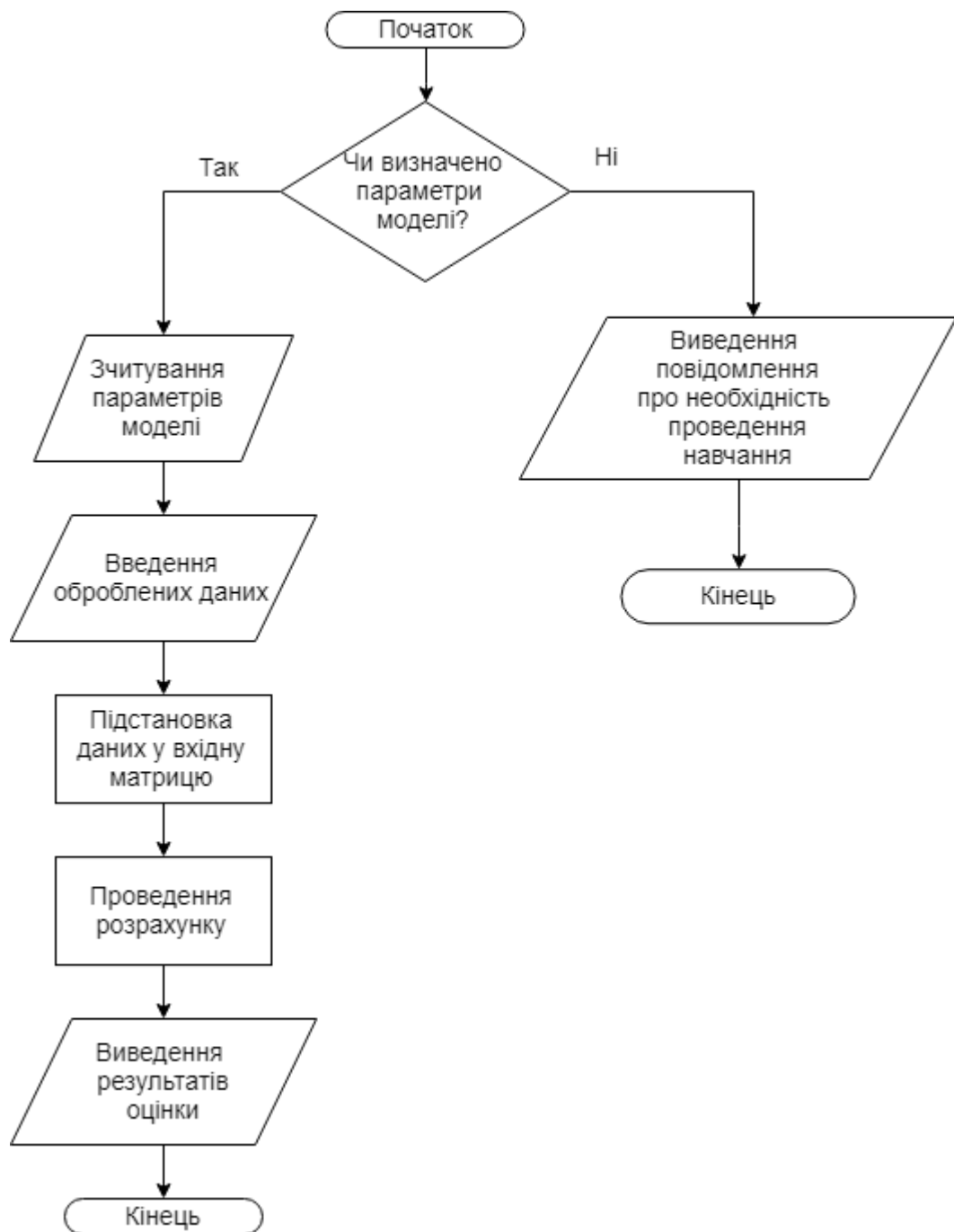


Рис 2.2. Алгоритм роботи програми, що діагностує стан кристалізатора

2.1.2 Складання алгоритму роботи системи

За основу для системи, що розглядається у цьому розділі, прийнято систему, що була розроблена авторами статті [16].

Система складається з вимірювальної та обчислювальної частин. Використовуються три блоки збору даних, що розміщуються на цільовому об'єкті, і пристрій для забезпечення зв'язку між блоками збору даних та комп'ютером (контролер). Кожен блок збору даних містить МЕМС давач прискорення, що має три вівсі чутливості, та електричну схему, що забезпечує роботу давача та зв'язок з контролером.

Єдине завдання, яке повинна виконувати вимірювальна частина, це — по команді, дискретно у часі, фіксувати прискорення, що діють на давачі, та передавати отримані дані до комп'ютера.

Вхідними даними системи є:

- масив, що складається з 9-ти елементів – прискорення точок по трьом осям;
- час між вимірюваннями;
- нульові значення - значення вихідного сигналу з кожного з давачів при відсутності дії динамічних прискорень;
- чутливість давача по всім осям.

Алгоритм роботи:

- 1) знайти період коливань через масив прискорень;
- 2) здійснити інтегрування так, щоб кожна точка поверталася у первинну позицію через цілу кількість періодів;
- 3) визначити нульову точку і порівняти з реальною. Визначити за отриманими сигналами відхилення давачів від осі.

- 4) повторити інтегрування з урахуванням відхилень;
- 5) розрахувати переміщення.

Вихідні дані — дані про розміщення трьох точок площини протягом вимірювання.

Система контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ повинна виконувати ряд функцій. Запишемо їх перед складанням алгоритму, це:

- зчитування параметрів коливання, заданих для конкретного ливарного режиму;
- зчитування інформації з чутливих елементів;
- візуалізація руху контрольних точок кристалізатора з відображенням траєкторії;
- складання висновку про стан системи;
- контролювання показів датчиків, проведення самоконтролю з метою виявлення несправностей.

На основі перерахованих функцій та введення ланки діагностики стану кристалізатора за допомогою моделі, що використовує машинне навчання, складемо алгоритм, на який спиратиметься майбутня побудова системи і програми. Складений алгоритм зображено на рис. 2.3.

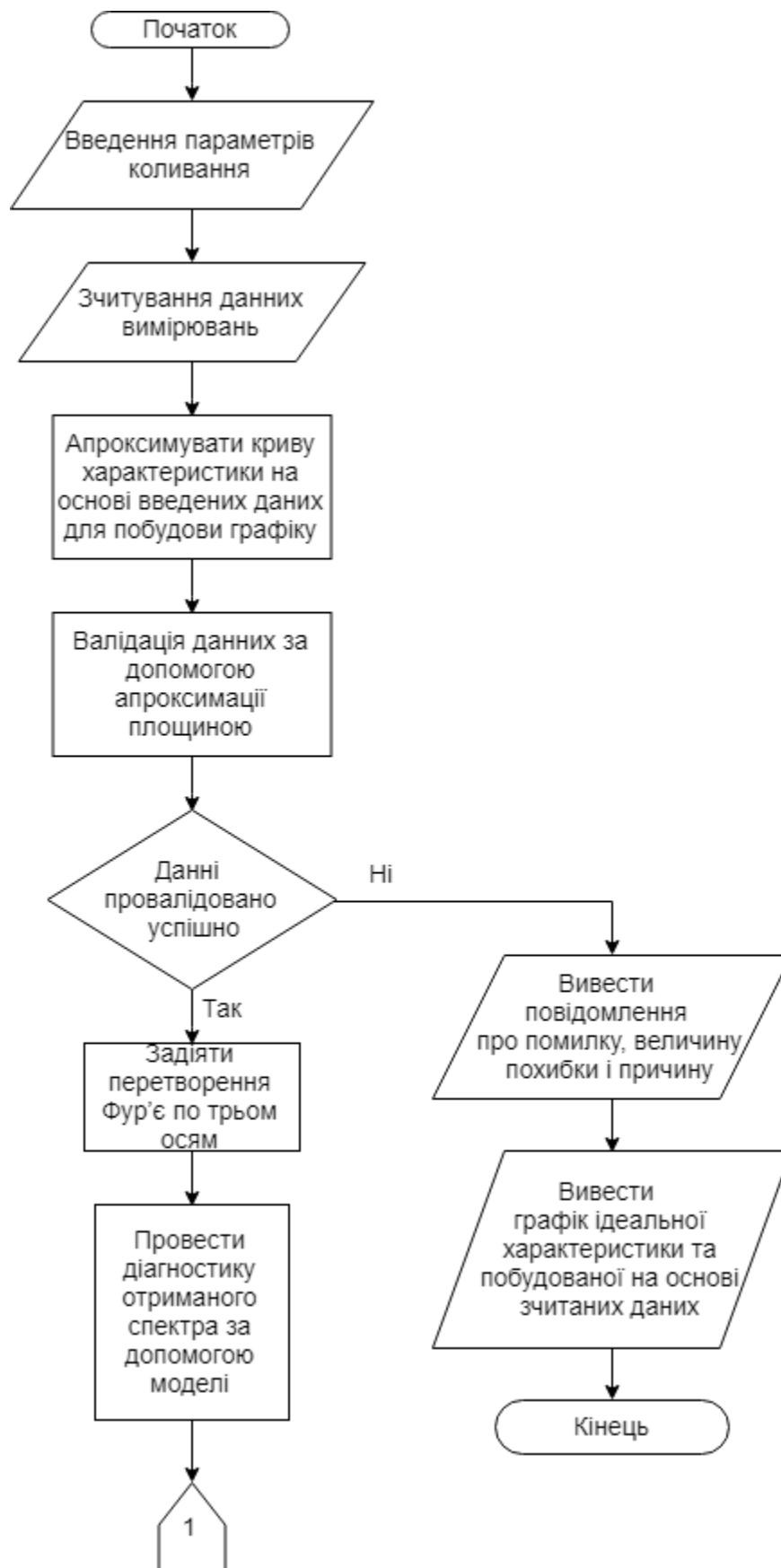


Рис 2.3 – Алгоритм роботи системи контролю параметрів руху кристалізатора



Рис 2.4 – Алгоритм роботи системи контролю параметрів руху кристалізатора (продовження)

Результати роботи створеної програми у вигляді траєкторії руху контрольних точок площини зображено на рис. 2.5.

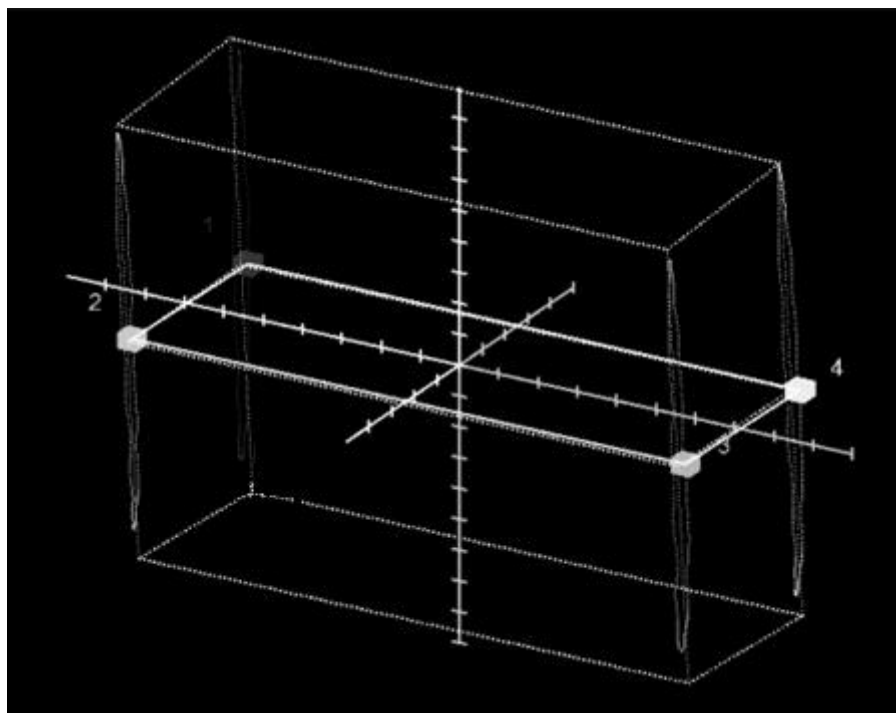


Рис 2.5 – Візуалізація переміщення площини по чотирьом контрольним точкам

2.2 Застосування крос-валідації для оцінки якості моделі та покращення результатів її роботи

У рамках дослідження було проведено серію тестів, щоб визначити зміщення і дисперсію різних методів ресемплінгу. Для кожного набору даних застосовано кожен з цих методів ресемплінгу по 25 разів з різними ініціалізуючими значеннями вагів моделі. У підсумку було отримано усереднені значення зсуву і дисперсії для кожного методу.

На рис 2.6 зображено графік залежності медіани дисперсії похибки моделі від кількості блоків, на які розбито масив даних перед КВ. Значення 5 і 10 відповідають 5- та 10-блоковій КВ відповідно. Значення більше 10 відповідають багаторазовій 10-блоковій КВ (60 - 6-кратна 10-блокова).

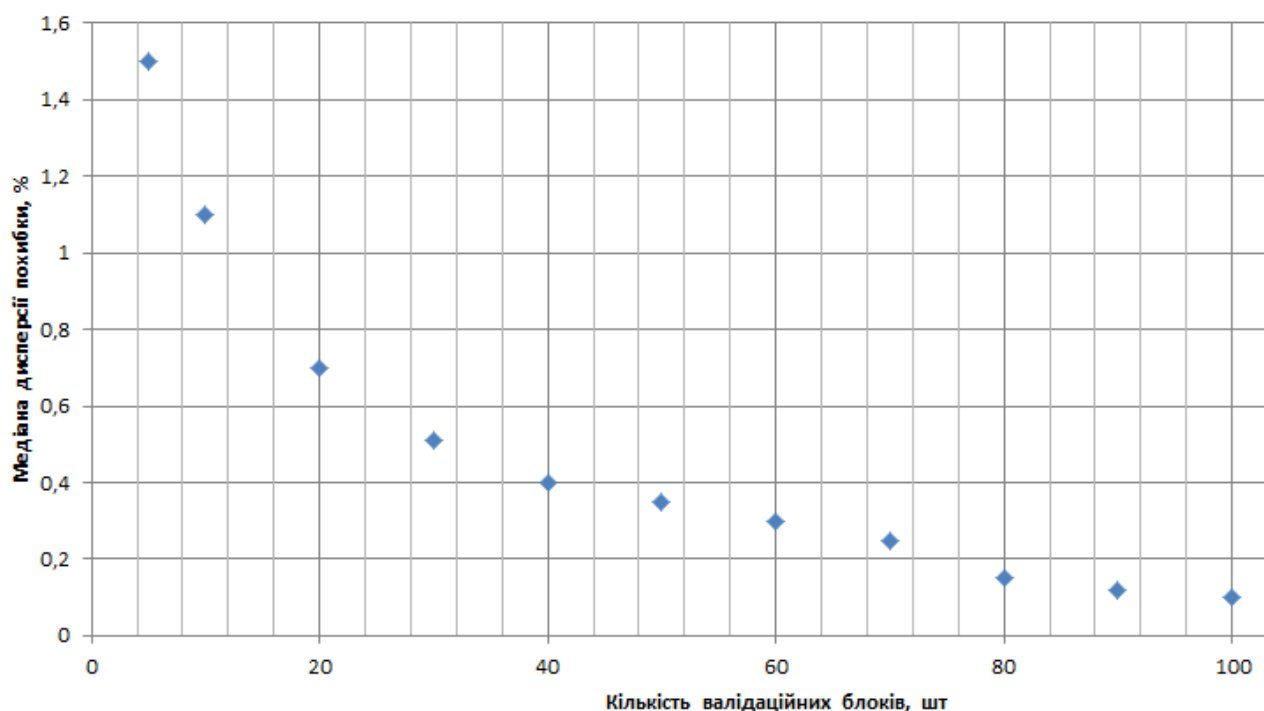


Рис 2.6 – Величина дисперсії залежно від ступеню розбиття набору даних

Результат очікуваний: при багаторазовому повторенні дисперсія k-блокової КВ зменшується. Щодо перших двох точок (одноразова 5-блокова КВ і одноразова 10-блокова КВ) слід зазначити, що дисперсія зменшується при збільшенні кількості розбивання з 5 блоків до 10.

Згідно із загальноприйнятою думкою, зміщення повинно бути менше для багаторазової к-блокової КВ, оскільки в цьому випадку зменшується розмір валідаційної вибірки. На рис 2.7 зображено графік з результатами досліджень:

Ми бачимо, що оцінка 5-блокової КВ є песимістично зміщеною, а при переході до 10-блокової КВ зміщення зменшується. Як показав експеримент, багаторазова 10-блокова КВ дозволяє ще трохи зменшити зміщення, хоча цей результат може знаходитися в межах похибки.

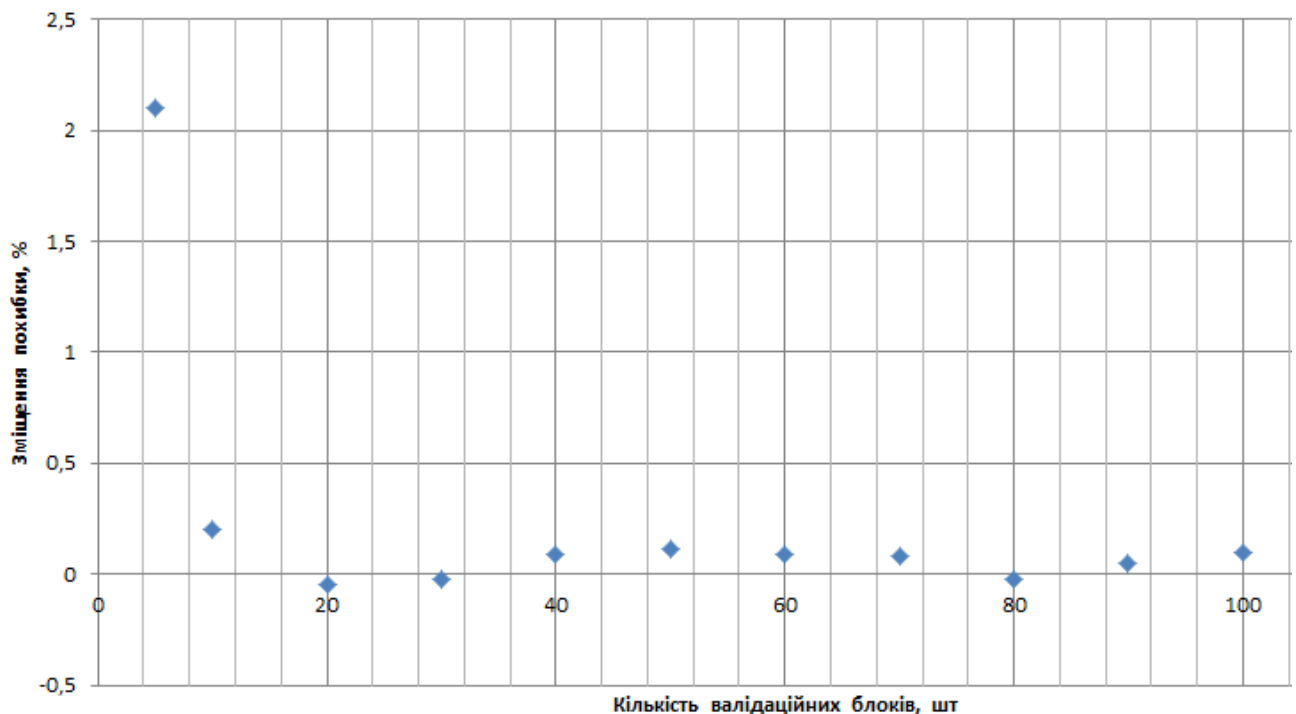


Рис 2.7 – Величина зміщення залежно від ступеню розбиття набору даних

2.3 Застосування баз даних

Описана вище модель дозволяє діагностувати стан кристалізатора та відповідність траєкторії його руху заданій.

Для спрощення доступу до даних пропонується задіяти бази даних, як спосіб організації інформації як при збереженні обробленої інформації, так і при її використанні для тренування моделі.

До розгляду пропонується два способи організації бази даних:

- одинична таблиця, що містить часову мітку та покази всіх акселерометрів;
- група таблиць у кількості, що відповідає кількості датчиків, та головна сполучна таблиця з ідентифікаторами часової мітки для вимірювань, що записані в основні таблиці.

Очевидно, що реалізація першого варіанту значно простіша, структура бази даних складається з одної таблиці, в якій уміщено всі дані. Тоді як структура другої схеми значно краще структурує дані. Крім того, у разі відмови датчика, зсуву в часі даних через затримку сигналу або збою роботи програми у першому випадку існує ризик втрати всього обсягу інформації, що була збережена, а у другому – ні. Часові мітки дозволяють ідентифікувати момент часу для кожного вимірювання і саме по ним відбуватиметься пошук для збору інформації з датчиків. При відмові одного з датчиків в якийсь момент часу, дані з нього буду просто відсутні і не відбудеться збою програми. На додачу до цього, використання сполучної таблиці дозволяє уникнути появи надмірної кількості повторень інформації про часову мітку вимірювання.

Виходячи з наведених аргументів, було прийнято рішення про вибір другого варіанту, як пріоритетного для подальших досліджень. Структура обраної бази даних представлена на рисунку 2.8.

Tables_in_prototype_db
data1
data2
data3
data4
time

Рис 2.8 Структура бази даних для чотирьох акселерометрів

Структура таблиць в базі даних наступна:

1. Основна (сполучна) таблиця – 2 поля – первинний ключ, якому відповідає дата і час прийому інформації;
2. Таблиця даних (у кількості датчиків, включених до системи) – 4 поля – первинний ключ і три числових поля для сигналів акселерометра по трьом осям вимірювань (Рис. 2.9).

```
mysql> select * from data1;
+-----+-----+-----+-----+
| X      | Y      | Z      | id |
+-----+-----+-----+-----+
| 1121124 | 1212124 | 8845121 | 1 |
+-----+-----+-----+-----+
```

Рис 2.9 Структура таблиці з даними, отриманими з одного із акселерометрів

Перевагою такої структури бази даних є надзвичайна гнучкість, що насамперед проявляється у можливості включення та виключення додаткових датчиків або інформації з них без внесення суттєвих змін у код або структуру таблиць.

За необхідності можна створити ще одну таблицю з залежностями датчика та конкретної МНЛЗ. Таким чином забезпечується можливість використання запропонованої бази даних у вимірювальних комплексах, що обслуговують не один, а декілька МНЛЗ одночасно.

Після визначення структури бази даних для оцінки доцільності її використання необхідно розрахувати приблизний розмір файлу, у який буде збережено базу даних, і порівняти його з файлами, що створюються наявними на сьогодні системами хитання кристалізатора.

Для цього використаємо інформацію про типи даних, що будуть нами використовуватися на прикладі бази даних MySQL. Для полів у базі даних використовуються цілі числа та поле формату дата-час. Цілочисельний тип займає в пам'яті 4 байти, а дата-час – 8 байт. Описані нами таблиці мають по чотири цілочисельних поля для показів акселерометра та первинного ключа у таблиці з даними і два поля у сполучній таблиці – дата-час для часової мітки та число для первинного ключа. Обчислимо підсумковий розмір пам'яті, що необхідно виділити для зберігання одного циклу вимірювань за формулою:

$$N * (4 * Q_{ц}) + (Q_{ц} + Q_{дч}),$$

де N – кількість акселерометрів, що приймають участь у вимірюванні,

$Q_{ц}$ – об'єм пам'яті, що займає цілочисельний тип,

$Q_{дч}$ – об'єм пам'яті, що займає тип дата-час,

Виходячи з того, що система моніторингу параметрів кристалізатора МНЛЗ має 4 акселерометра, і з даних, наведених вище, підставимо і обчислимо:

$$4 * (4 * 4) + (4 + 8) = 76 \text{ (байт)}$$

Отже, одна ітерація вимірювань займатиме в пам'яті 76 байт. Діапазон частот вимірювань на секунду для подібних систем стандартний і складає до 100 Гц, отже обсяг пам'яті, необхідний для збереження інформації про одну секунду вимірювань, складатиме 7.6 кілобайт. Відповідно, за хвилину матимемо до 0.5 мегабайт пам'яті.

Розрахований варіант описує випадок, коли мова йдеться про зберігання всієї інформації, повного циклу контролю. Однак це лише один із декількох способів зберігання інформації, що залежить від задач, які ставляться перед конкретним дослідженням. Так, якщо моніторинг проводиться в режимі реального часу, то достатньо лише проконтролювати величину похибки показів і вивести їх, зберігати дані не потрібно. Однак таке вимірювання не дозволить використати отримані дані у подальшому для детального аналізу стану або для тренування моделі.

Якщо ж потрібно все-таки зберегти дані для подальшої обробки, то можна розглянути наступні можливості:

- зазначене вище зберігання повного циклу вимірювань;
- збереження вибірки даних (прорідження);
- збереження даних у стиснутому вигляді (архів).

Прорідження даних може призвести до втрати важливої частини інформації, тому необхідно заздалегідь визначити дискретизацію сигналу, періодичність, з якою необхідно здійснити вибірку. Архівація даних – складний процес, який може бути перерваний або пройти з помилкою. Крім того, архівування даних потребує часу, що негативно відобразиться на швидкодії системи в цілому.

2.4 Валідація даних за допомогою методу площини

Система повинна бути захищена від можливого збою у роботі акселерометрів, адже мінімальні похибки, що будуть викликані одним із акселерометрів, можуть

викликати збій у роботі всієї системи. Наприклад, у разі несправності немає можливості сказати, чи вихід показів за межі норми був викликаний відхиленням кристалізатора від заданої траєкторії, чи це вийшов з ладу акселерометр. І той і той випадок вимагає зупинки лінії та детальної діагностики протягом тривалого часу. Це може викликати значні фінансові втрати через простой лінії.

Для уникнення таких ситуацій пропонується розробити алгоритм перевірки значень, що надходять з вимірювальних датчиків системи (акселерометрів). Для цього використаємо описану в МД систему контролю і моніторингу параметрів руху кристалізатора МНЛЗ. Включимо до її складу 4 акселерометри. Сенсори розташовуються на верхній горизонтальній поверхні кристалізатора таким чином, щоб кожні три не лежали на одній прямій. Тоді стає можливим провести через три точки площину і перевірити приналежність четвертої точки цій площині.

Скористаємося рівнянням для визначення площини через три точки за допомогою матриці, зображеної на рис. 2.10.

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \\ x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & z_2 - z_0 \end{vmatrix} = 0.$$

Рис. 2.10 – Матриця для визначення площини у просторі через три точки: $x_0, y_0, z_0, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ – координати точок M_0, M_1, M_2 , що визначають площину; x, y, z – координати точки M , що перевіряється на приналежність до площини.

Алгоритм контролю наступний: один із акселерометрів обирається як контрольований, решта – контролюючі. Покази групи з трьох акселерометрів утворюють групу з трьох точок, через які однозначно можна провести площину, оскільки вони не лежать на одній прямій. Значення координат підставляються у матрицю замість M_0, M_1, M_2 , а покази першого акселерометра – замість точки M .

Розраховується визначник матриці d , який характеризує приналежність точки M площині. Якщо точка належить площині, $d=0$, інакше результатом буде число, відмінне від нуля. Взявши у розрахунок похибку акселерометрів, можна зробити допущення у вигляді нестрогої нерівності

$$d \leq \delta,$$

де δ – величина межі похибки акселерометра за паспортом.

Таким чином визначається, чи вірні покази одного із акселерометрів. Для валідації інших акселерометрів необхідно повторити описаний вище алгоритм, замінивши акселерометри між собою.

2.5 Висновки до розділу 2

Розроблено алгоритм та програмне забезпечення для системи контролю параметрів руху кристалізатора, проведено дослідження доцільності використання машинного навчання як способу моніторингу стану кристалізатора та відповідності параметрів його руху заданим. Досліджено вплив ступеню глибини навчання (величини розбивання тренувального набору даних) на точність результату роботи моделі. Розбивання масиву даних на 10 підмасивів і проведення багаторазової крос-валідації дозволяє зменшити вірогідність помилки до

Використання баз даних дозволяє систематизувати отримані дані у зручному та наочному для користувача вигляді, дає можливість інтегрувати систему в інші мережі через спільний інтерфейс без додаткових засобів обробки чи перетворення сигналу. Дані, збережені у системі управління базами даних (СУБД) можуть бути передані до відомих програм-візуалізаторів, мобільних додатків або веб-сайтів для подальшої обробки, візуалізації, шифрування, тощо. Розраховано об'єм пам'яті, необхідний для зберігання даних вимірювання, він складає до 0.5 Мб/хв. Існуючі системи моніторингу параметрів руху кристалізатора МНЛЗ користуються файлами даних, розмір яких рідко перевищує 0.3 Мб/хв. Отже, запропонований спосіб

потребує використання майже на 50% більше пам'яті, проте це зумовлено наявністю додаткових акселерометрів, що виконують контрольну функцію і забезпечують можливість самодіагностики системи. Переваги СУБД перевищують над цим недоліком, що легко усувається розширенням накопичувача на комп'ютері, даючи набагато більше можливостей для подальшого розвитку системи.

3 Розробка стартап проекту «Мобільна система діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора»

3.1 Опис ідеї проекту

Протягом останніх п'ятнадцяти років в світі набуло масового розповсюдження таке явище як стартап. Стартап – це форма малого підприємництва, будує свій бізнес на основі інновацій або впровадження нових технологій, починає інтеграцію з ринком і володіє певними обмеженими ресурсами. Розповсюдженню стартапів сприяла поява Інтернету – всесвітньої мережі – інструменту, за допомогою якого користувачі можуть зв'язуватися між собою, шукати та продавати ресурси незалежно від відстані та кордонів між собою. Стартап вважається одним із ключових аспектів інноваційної економіки, оскільки стимулює зростання кількості ідей та полегшує їх реалізацію за рахунок мобільності та гнучкості ринку стартапів.

Однак, стартап-проекти належать до групи високо ризику, оскільки запуск стартап та вихід на ринок пов'язані з низкою складностей, які не кожен проект може подолати. За різними оцінками, успішності досягає приблизно 20% від загальної кількості стартапів, що намагаються вийти на ринок. Проблемою стартапу є те, що ідея сама по собі не має ніякої цінності, тому основною задачею команди на початкових стадіях розробки стартап-проекту є трансформування ідеї стартапу у адекватну бізнес-модель. Для початку мають бути визначені групи клієнтів, для яких буде сформована концепція товару або послуги, оцінені ринкові умови.

Розглянувши в попередніх розділах системи діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора машини неперервного лиття заготовок, запропоновано розробку програмного забезпечення для такої системи, проведено огляд її аналогів. В цьому розділі буде проведено аналіз даного стартап проекту, основна мета якого полягає у визначенні можливості виходу даного продукту на ринок і проведенні порівняння з аналогічними рішеннями від конкурентів.

Метою даного стартап-проекту є:

1. Розробка мобільного вимірювальної системи діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора;
2. Оптимізація існуючих систем діагностування та процесу контролю технічного стану механізму хитання кристалізатора.

У таблиці 3.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 3.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Комп'ютерно-інтегрована система діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора машини неперервного лиття заготовок	Металургійні підприємства	<ol style="list-style-type: none"> 1. Покращення якості продукції; 2. Зменшення кількості деталей машин, що виходять з ладу; 3. Зменшення кількості бракованих деталей на виході МНЛЗ; 3. Спрощення контролю вимірювання
	Лабораторії контролю параметрів руху МНЛЗ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Знаходження оптимальних режимів для лиття заготовок; 2. Оптимізація параметрів роботи МНЛЗ

Пропонується новий засіб контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ. Розробляється програмне забезпечення та інтерфейс для підключення системи контролю до контрольованої системи. Таким чином, створюється можливість для створення мобільної системи контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ. Це дозволить пропонувати металургійним підприємствам послугу швидкого контролю без зупинки виробництва.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ n/n	Техніко- економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Vatron	KISS	Siemens			
1	Патенти на продукти	Немає	Має	Має	Має	+	-	-
2	Динаміка галузі	Середня	Середня	Середня	Середня	-	+	-
3	Змінні витрати	Не впливають	Впливають	Не впливають	Не впливають	-	-	+
4	Система інформації	Погана	Хороша	Хороша	хороша	+	-	-
5	Лояльність споживачів	Низька	Хороша	Хороша	Хороша	+	-	-
6	Ціна	Низька	Висока	Висока	Висока	-	-	+
7	Показники скорочення часу	Високі	Високі	Середні	Високі		+	
8	Показники автоматизації процесу	Високі	Високі	Високі	Високі		+	

За рахунок середньої динаміки галузі та низької лояльності споживачів буде важко вийти на ринок, однак низька ціна послуги та низькі витрати можуть

стимулювати клієнтів, зокрема через новизну товару. Є необхідність у патентуванні системи та проведенні рекламної кампанії з метою залучення потенційних клієнтів.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автономність	Використання портативного ПК	Так	Так
2	Швидкість	Оптимізація алгоритмів розрахунку	Так	Так
		Використання баз даних	Так	Так
		Використання машинного навчання	Так	Так
3	Доступність	Використання баз даних	Так	Так

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що проект можливо реалізувати з технічної точки зору, оскільки всі необхідні технологічні рішення наявні та доступні для команди розробників.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміку розвитку ринку (таблиця 3.4).

Таблиця 3.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	50 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Спадає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Вузьке коло потенційних клієнтів
3	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги техніки безпеки, теплостійке виконання, положення, що забезпечують технічну єдність та ін.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	70%

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що дана сфера діяльності має ряд вимог до продукту та обмежений ринок збуту. Невелика кількість конкурентів, за рахунок оптимізації та створення інтерфейсів для будь-яких

існуючих систем дозволяє зробити висновок про достатню конкурентоспроможність проекту.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів
стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Створення мобільної системи контролю стану рухомої частини МНЛЗ	Металургійні комбінати	Для кожного окремого підприємства потрібно створювати окремі інтерфейси для системи вимірювання	Покращення якості продукції та зменшення кількості бракованих заготовок на виході МНЛЗ

Потенційною групою клієнтів для товару мають стати металургійні комбінати, які отримають вигоду у покращенні якості заготовок, скороченні часу на діагностику системи, автоматизації вимірювань

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 3.6).

Основною проблемою є обмежена і відносно мала кількість підприємств, що потребують використання системи, запропонованої в проекті. Окрім того, складна геополітична ситуація в країні також накладає свій відбиток на ринок споживачів. Також слід відмітити, що в цій галузі останнім часом спостерігається відсутність росту обсягів виробництва.

Таблиця 3.2. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Відсутність попиту	Використання подібних або аналогічних систем на підприємствах	Проведення рекламної кампанії, спілкування з керівництвом та робітниками підприємства
2.	Скорочення ринку	Закриття підприємств- клієнтів через брак фінансування	Проведення реклами з доцільності впровадження пропонованої системи для оптимізації виробництва і зниження шансу скорочення або закриття підприємства
3.	Наявність конкуренції	Підприємства можуть використовувати інші системи контролю	Напрацювання клієнтської бази за рахунок зниження ціни послуги
4.	Менталітет	Небажання робітників підприємства знайомитися з новим аспектом технологічного процесу	Проведення бесід про позитивний бік застосування запропонованої системи, спілкування з керівництвом підприємств для забезпечення його потреб

Висновок. Існує велика кількість негативних факторів, що становлять загрозу можливості успішного виходу продукту на ринок. В таблиці 3.6 визначені основні з них та можлива реакції компанії, спричинена цим фактором.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 3.7).

Таблиця 3.3. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Наявність попиту	Мала кількість конкурентів на ринку	Постійне доопрацювання програмного забезпечення, індивідуальний підхід до клієнтів
2.	Економічний	Державні впливання в промисловість, зниження податків	Активізація рекламної кампанії
3.	Технологічні	Впровадження нових технологій на виробництві	Адаптація програмного забезпечення та апаратної частини, співпраця з інженерами підприємств-клієнтів
4.	Збільшення популярності продукту	Закріплення на ринку, поява нових потенційних клієнтів	Вживання заходів з розширення штату компанії, обсягів виробництва

Були наведені фактори можливостей за які варто зачепитися, щоб більш успішно вийти на ринок, закріпитися на ньому та успішно реагувати на подальші зміни ринку.

Проведемо ступеневий аналіз конкуренції на ринку. Визначимо як впливає то чи інший фактор на можливість продукту змагатися з конкурентами. Дані наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.4. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Цінова	Поява попиту на продукції за рахунок зниження ціни послуги	Зменшення ціни, зростання кількості продаж
Галузева	Здатність компанії адаптувати продукт відповідно до потреб клієнта	Впровадження широкої лінійки продуктів, що здатні забезпечити широкий спектр надаваних послуг, спілкування з підприємствами-клієнтами
Міжнаціональна	Конкурентоспроможність продукту на міжнародному ринку	Відповідність продукту міжнародним стандартам, проведення сертифікації продукт, організація рекламних кампаній закордоном на виставках, форумах, тощо
Монопольна	Переваги ринкових конкурентів через тривалий час існування на ринку	Вдосконалення продукту, проведення рекламної кампанії, хантинг спеціалістів фірм-конкурентів
Товарна	Наявність різних типів обладнання, роботу якого треба контролювати	Створення індивідуальних технологічних рішень для кожного клієнта

Було проаналізовано можливі види конкуренції на ринку та викладено перелік основних заходів, яких варто дотримуватися для створення конкурентоспроможного продукту.

Тепер, провівши аналіз конкуренції, проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 3.5. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти
	KT450, Vatron		Voestalpine, KISS, Siemens	Підприємства, що використовують МНЛЗ
Висновки	Сильні конкуренти, що тривалий час знаходяться на ринку	Можливостей виходу на ринок небагато, необхідно знайти контакти з підприємствами для налагодження співпраці	Необхідно знайти постачальників відносно недорогих чутливих елементів для системи	Переважно державні підприємства, вимогливі до якості послуги, вимагають невисокої ціни через брак фінансування

Висновок. За Портером бачимо, що головною силою, що впливає на конкуренцію, є підприємства-споживачі. Визначаємо конкуренцію як монополістичну при малій кількості споживачів.

Провівши всі аналізи, отримавши результати та зробивши висновки, можна визначити перелік факторів конкурентоспроможності та навести їх обґрунтування. Систему реалізовано у вигляді прототипу, проведено ряд експериментів на підприємствах України, метою подальшої розробки є доопрацювання системи до готового промислового зразка, його сертифікація та пошук клієнтів для реалізації.

Таблиця 3.6. Обґрунтування факторів
конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Новизна	Використання нових алгоритмів та технологій
2	Дешевизна	Порівняно нижча ціна
3	Точність	Забезпечення кращої точності діагностики
4	Надійність	Використання алгоритмів, що забезпечують самодіагностику і передбачення виходу системи із ладу
3.	Універсальність	Можливість адаптації системи під конкретного клієнта

Таблиця 3.7. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін
«continuous casting machine control system»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з конкурентами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	13	+						
2	Велика кількість постачальників	16				+			
3	Висока якість	18						+	
4	Технічна підтримка	18						+	
3.	Ціна	17					+		

Таблиці 3.10 і 3.11 дають змогу побачити, що продукт є достатньо конкурентоспроможним, з оцінки факторів можна зробити висновок, що продукт при впровадженні матиме певні проблеми з займанням ніші на ринку, проте за

рахунок низки переваг подальші перспективи дають можливість сказати, що проект має гарні перспективи досягти успішності.

Таблиця 3.8. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Зменшення витрат часу на діагностику - Підвищення якості роботи МНЛЗ - Полегшення доступу до даних - Адаптивність продукту 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Низька динаміка ринку - Висока конкуренція з відомими фірмами - Маловідомий продукт - Необхідність великого обсягу фінансів для просування продукту на ринку
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Мала кількість конкурентів на ринку 2. Державні впливання в промисловість, зниження податків 3. Впровадження нових технологій на виробництві 4. Закріплення на ринку, поява нових потенційних клієнтів 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Використання подібних або аналогічних систем на підприємствах 2. Закриття підприємств-клієнтів 3. Підприємства можуть використовувати інші системи контролю 4. Небажання робітників підприємства знайомитися з новим аспектом технологічного процесу.

В таблиці 3.12 зібрано та впорядковано інформацію з попередніх таблиць. Очевидно, що наведені фактори є умовними і реальну картину можна дізнатися лише почавши працювати на ринку.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для того, щоб було створено необхідні умови по виведенню проекту на ринок, враховано існуючих конкурентів та можливу появу нових.

Таблиця 3.9. Альтернативи ринкового впровадження
стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Середня	18 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	12 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	Середня	18 місяців

Оцінивши можливі варіанти впровадження продукту на ринок, робимо висновок, що оптимальною стратегією буде стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями. Вона дає можливість запустити стартап найшвидше серед інших. Крім того, цей підхід вимагатиме меншого фінансування, оскільки користуватися можливостями набагато простіше, ніж боротися із загрозами.

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

При розробленні ринкової стратегії спочатку визначимо стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 3.10. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні підприємства	Готові	Середній	Висока	Висока
2	Державні підприємства	Готові	Середній	Висока	Середня
<p>Підсумок:</p> <p>Дослідивши потенційні групи споживачів, приймаємо рішення про співпрацю як з державними так і з приватними підприємствами.</p>					

Провівши аналіз потенційних груп споживачів було обрано дві основні цільові групи. Стратегія полягатиме у тому, що спочатку планується співпраця з державними підприємствами, де легше почати співпрацю. Далі, напрацювавши певну базу клієнтів та відгуків, можна висувати продукцію на ринок приватних підприємств.

Сформуємо базову стратегію розвитку для роботи в обраному сегменті ринку.

Таблиця 3.15. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Акцент на сильних сторонах проекту, компенсація слабких сторін за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг: розробка індивідуального обладнання відповідно до потреб підприємства	Зниження ціни на послугу, співпраця з провідними спеціалістами в галузі, проведення широкої рекламної кампанії	Стратегія диференціації

Основною була обрана стратегія диференціації через специфіку ринку та умови, в яких опиняється проект. Продукт вимагає персонального підходу та створення індивідуального товару для кожного клієнта, що і покладено в основу даної стратегії.

Обравши стратегію розвитку, перейдемо до вибору стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.16).

Таблиця 3.11. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Проект не є «першопрохідцем»	Планується пошук нових клієнтів так і налагодження контактів з існуючими споживачами	Не буде	Стратегія флангового наступу

Була прийнята стратегія флангового наступу, що має на меті розгортання діяльності поза зоною бачення конкурента, щоб не привертати його увагу. Таким кроком має стати робота з новими підприємствами серед приватного сектору. Далі, набравши клієнтську базу, відгуки та рекомендації, можна пропонувати свої послуги вже державним підприємствам, підкріплюючи якісні показники (низька ціна, якість) вже наявним досвідом роботи.

Тепер, визначившись з стратегіями розвитку і конкурентної поведінки та знаючи вимоги споживачів до продукту, розробимо стратегію позиціонування, сформуємо ринкову позиції продукту. Це стане визначальною рисою для споживачів.

Таблиця 3.12. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Універсальність системи, точність вимірювань	Стратегія диференціа ції	Адаптивність продукту під кожного клієнта, висока точність діагностики, нижча, ніж у конкурентів, ціна	Ціна. Швидкість. Якість. Зворотній зв'язок із виробником. Універсальність

У підсумку ми отримали систему рішень для формування поведінки компанії на ринку. Саме ця система визначить напрямки, у яких потрібно працювати, та критерії, яких треба дотримуватися, щоб стартап досяг успіху.

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

При розробці маркетингової програми спочатку потрібно розробити маркетингову концепцію товару, що буде отриманий споживачем. Підведемо підсумок результаті аналізу конкурентоспроможності товару в таблиці 3.18.

Таблиця 3.13. Визначення ключових переваг концепції
потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Створення ПЗ для спрощення процесу діагностики МНЛЗ	Зниження кількості браку, контроль та діагностика стану системи, передбачення виходу обладнання з ладу	Індивідуальний підхід до клієнта, постійна технічна підтримка, спрощення процесу діагностики, відсутність необхідності зупинки виробничого процесу.

Маркетингова програма буде розроблена виходячи із наведених переваг товару перед товарами-конкурентами. Основними пунктами стратегії є розробка програмного забезпечення під конкретні умови споживача на додачу до нижчої, ніж у конкурентів, ціни.

Таблиця 3.14. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Комп'ютерна система контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Ціна	М	Е
	2. Інноваційність	Нм	Тл
	3. Універсальність	М	Тх
	4. Безвідмовність	М	Тл
	5. Безпека	М	Вр
	Якість: відповідає нормам ДСТУ2499:2017		
III. Товар із підкріпленням	Пакування: програмне забезпечення, встановлене на портативний комп'ютер		
	Марка: відповідає назві стартапу		
III. Товар із підкріпленням	До продажу проводиться рекламна кампанія		
	Після продажу спілкування з клієнтами		

За допомогою таблиці 3.19 наведено модель стартапу, показано задум проекту, оцінені головні характеристики, описано вимоги до якості та вигляд товару, в якому він буде поставлений споживачу, способи підкріплення товару.

Далі за методикою потрібно вказати цінові межі, на які має бути встановлено орієнтир при встановленні ціни на товар, для цього необхідно провести моніторинг цін товарів конкурентів та доходів споживачів продукту (табл. 3.20).

Таблиця 3.15. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	10 000 USD	5 000 USD	Середній	4 000 – 12 000 USD

В таблиці 3.20 ми навели середні ринкові ціни послуг, які надають конкуренти, розглянули рівень доходів серед основних потенційних споживачів. Таким чином, знаючи ці дані, можна встановити межі ціни на надавану послугу.

Таблиця 3.16. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Тривалість співпраці з підприємством та вартість послуги залежать від великої кількості факторів	Встановлення системи на підприємстві, наладка, калібрування, повірка, складання звіту по результатам контролю та рекомендацій для клієнта	Канал нульового рівня	Реалізація напрямку без посередників шляхом прямого продажу

Було обрано систему збуту через пряму реалізацію, система власноруч доставляється на підприємство, встановлюється, в подальшому підтримується засобами виробника. Це викликано потребою прямого контакту з клієнтом для уточнення нюансів роботи.

Таблиця 3.17. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Бажання покращення якості виробництва	Тематичні журнали або каталоги, виставки, конференції	Доступність інформації, відкрите спілкування з клієнтом	Інформування про наявність нового продукту, налагодження каналу спілкування з клієнтами, створення репутації	Низька ціна, зниження долі браку, персональний підхід, висока адаптивність системи

Планується зіграти на бажаннях клієнта, побудувавши на цьому концепцію надаваної послуги. Акцентуючи увагу на перевагах продукту (низька ціна, точність діагностики, індивідуальний підхід до клієнта), буде доводитися здатність продукту бути конкурентоспроможним на ринку.

Система збуту і ціна послуги формується через специфіку роботи в галузі, аналізуючи конкурентів та стан ринку.

3.6 Висновки до розділу 3

В даному розділі була описана та проаналізована ідея стартапу на основі комп'ютерної системи контролю та діагностики параметрів руху кристалізатора МНЛЗ «Continuous Casting Machine Control System». Система дозволяє протягом

короткого часу зібрати дані, провести їх аналіз, візуалізувати і дати висновок про стан системи контролю.

Згідно методики аналізу стартапу було складено ряд таблиць, в яких наведені основні дані, що дозволяють робити висновки про потенціал проекту. Був проведений аналіз ідеї відносно існуючих та потенційних конкурентів. Були наведені основні переваги (низька ціна, покращення якості роботи установки, доступність даних, універсальність та адаптивність системи) і недоліки (низька динаміка ринку, високий поріг входження на ринок) проекту, складені рекомендації стосовно дій команди стартапу для збільшення шансів на успішний вихід на ринок.

Враховуючи, що необхідні технології та ресурси наявні і знаходяться у широкому доступі, можна зробити висновок, що проект можливо реалізувати достатньо легко і основні труднощі виникнуть при входженні на ринок. На час запровадження проекту може вплинути необхідність створення гнучкої системи з високою адаптивністю, щоб мати можливість в подальшому легко підлаштовуватися під бажання та потреби клієнта без суттєвого доопрацювання коду та апаратної частини проекту. Через це необхідно провести ряд досліджень та опитувань серед основних потенційних клієнтів з метою визначення ключових функцій системи.

Через низьку динаміку та високу монополізацію ринку виникає необхідність сильної рекламної кампанії з залученням додаткових коштів. Необхідно рекламувати продукт за допомогою участі команди проекту у різноманітних конференціях та виставках як в Україні, так і закордоном, випуск публікацій та статей у професійних журналах, друк рекламних каталогів та їх розповсюдження серед кола потенційних клієнтів. Наведені фактори можливостей говорять, що правильно провівши рекламну кампанію і вказавши на сильні сторони проекту, можна компенсувати його слабкі сторони і полегшити вихід на ринок.

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту, можна зробити висновок, що проект є конкурентоспроможним і здатний зайняти долю ринку. Почавши працювати в державному секторі, де поріг входження нижчий, продукт набиратиме популярність та репутацію, з'явиться ефект «сарафанного радіо». Крім того,

співпраця зі спеціалістами підприємств-клієнтів дозволить допрацювати систему і врахувати неточності у наступних версіях. Напрацювавши базу постійних клієнтів, можна, врахувавши їх рекомендації та зауваження, налагоджувати співпрацю з приватними підприємствами.

Висновки

Розглянута у роботі система контролю параметрів руху кристалізатора МНЛЗ є важливою частиною виробничого промислового комплексу з виготовлення заготовок. Подібні комплекси широко використовуються в Україні та у світі. Тому дослідження існуючих та створення нових систем контролю є актуальною і необхідною задачею.

У ході виконання магістерської дисертації проведено огляд та аналіз існуючих систем контролю і діагностики параметрів руху кристалізатора МНЛЗ, запропоновано використання технології машинного навчання для підвищення точності прогнозу та зниження впливу людського фактору.

У роботі складено алгоритми роботи системи контролю та моделі машинного навчання. Розроблено програмне забезпечення для контролю параметрів руху кристалізатора. Досліджено можливість застосування крос-валідації, як способу збільшення точності роботи програми, підвищення вірогідності правильного прогнозу, скорочення часу діагностики. Проведено аналіз впливу ступеню розбиття навчальних даних на підсумкову точність програми. Також досліджено доцільність застосування баз даних для зберігання даних у системі, проведено розрахунок обсягу бази даних та порівняння з аналогами.

Проведена оцінка можливості впровадження ідеї у якості стартап-проекту. Проведено аналіз конкурентів, ринку, галузі в цілому, складено перелік факторів, що можуть допомогти і завадити виходу на ринок. Оцінено можливість реалізації проекту за рахунок наявних технологій. Зроблено висновки стосовно доцільності запуску стартап-проекту та складено рекомендації для команди проекту.

Розроблена система може бути впроваджена на промислових підприємствах як засіб контролю встановлених систем, так і як самостійна система моніторингу і діагностики.

Список використаної літератури

1. Кудрин В. А. Металлургия стали. Учебник для вузов. — Москва: Металлургия, 1989. — 560 с. — ISBN 5-229-00234-4
2. Безперервне розливання сталі. // Українська радянська енциклопедія : у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан ; редкол.: О. К. Антонов та ін. — 2-ге вид. — К. : Головна редакція УРЕ, 1974–1985.
3. Непрерывная разливка стали [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] – Електронні дані – Режими доступу: metallurgy.zp.ua (Дата звернення 04.04.2019) – Назва з екрана
4. Кристаллизатор МНЛЗ (англ. Mold continuous casting mashine) - Металлургический словарь [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] – Електронні дані – Режим доступу: steeltimes.ru (Дата звернення 05.04.2019) – Назва з екрана
5. Конструкции машин непрерывного и полунепрерывного литья цветных металлов [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] – Електронні дані – Режими доступу: metallurgy.zp.ua (Дата звернення 04.04.2019) – Назва з екрана
6. OPI – OSCILLATION CHECKER INSTRUMENT FOR BILLET, BLOOM AND SLAB CASTERS [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] – Електронні дані – Режими доступу: <http://www.ergolines.it> (Дата звернення 07.04. 2019) – Назва з екрана
7. Семенюк А.О. Скрипник Д.В. Особливості роботи з даними в системі діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора. // – Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки – Київ, 2018 – №5 – С. 122 – 126.
8. А. Н. Полено, А. Ф. Бондаренко, В. А. Диденко Алгоритм функционирования информационноизмерительной системы для мониторинга механических колебательных процессов. / МНПК «Современные информационные и электронные технологии» – Одесса, 2013 – С. 110 – 112.

9. Иориш Ю.И. Виброметрия. Издание второе, переработанное и дополненное. – М.: Гос. научно-тех. изд-во машиностроительной лит-ры, 1963. –771 с.
10. Янчич В.В. Пьезоэлектрические датчики вибрационного и ударного ускорения. Учебное пособие – Ростов-на-Дону, 2008 – 9с.
11. Samuel A. (1959). Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. IBM Journal of Research and Development 3 (3): 210–229.
12. Kohavi R.; Provost F. (1998). Glossary of terms. Machine Learning 30: 271–274
13. Nils J. Nilsson, Introduction to Machine Learning
14. Machine Learning: What it is and why it matters [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] – Електронні дані – Режим доступу: www.sas.com (Дата звернення 25.04.2019) – Назва з екрана
15. Машинное обучение [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] – Електронні дані – Режим доступу: www.machinelearning.ru (Дата звернення 26.04.2019) – Назва з екрана
16. Діденко В. О., Бондаренко О. Ф., Полєно О. М. Використання машинного навчання для розпізнавання несправного стану механізму хитання машини безперервного лиття заготовок за сигналами прискорень/ МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології» – Одеса, травень 2015 р. – с. 40
17. Методичні рекомендації до підготовки та захисту атестаційних робіт для студентів напрямку підготовки 6.051003 Приладобудування спеціальностей: 7.05100302, 8.05100302 – Прилади і системи точної механіки та 7.05100306, 8.05100306 – Інформаційні технології в приладобудуванні/ Укладачі: О.К. Нікітін, В.М. Зайцев. – К.: НТУУ «КПІ», 2015 – 227 с.
18. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей/ За заг.ред О.А. Гавриша – Київ- НТУУ «КПІ», 2016. – 28с.

19. Безперервний розлив сталі [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] –
Електронні дані – Режим <https://uk.wikipedia.org> (Дата звернення 20.04.2019) – Назва з
екрана

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**ПРИЛАДОБУДІВНИЙ
ФАКУЛЬТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І
МАРКЕТИНГУ**



*XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених*

"ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ"

4-5 грудня 2018 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2018

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 112 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з фаху «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та вченої ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №10/18 від 26.11.2018 р.).

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.
В авторській редакції.

Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ”, 4-5 грудня 2018 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 434 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ», 4-5 грудня 2018 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

СЕКЦІЯ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН.

СЕКЦІЯ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІКРО- І НАНОПРИСТРОЇВ

М.В. Бойко, студент гр. ПМ-61, ст. викладач Толочко Т.О. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМЫ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЯГИ	164
Н.В. Вікторова, магістр гр. ПІ-71мп, ст. вик. Зайцев В.М. ПРУЖНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ З МЕХАНІЧНИМ ПІДСИЛЮВАЧЕМ	168
Д.С. Добронос, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., проф., Гераїмчук М.Д. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТИСКУ	173
Д.Р. Одайник, студент гр. ПМ-61 СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ	176
Д. В. Скрипник, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., проф. Гераїмчук М.Д. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ДАНИМИ В СИСТЕМІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА	180
Р.Р. Сорочинський, студент гр. ПІ-71мп, доц. Дубінець В.І. ПРИМІНЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА	184
Р.Р. Сорочинський, студент гр. ПІ-71мп, доц. Дубінець В.І. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА	188
В.В. Ходячий, аспірант, доц. Нікітін О.К. ОГЛЯД СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ І ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ	192

СЕКЦІЯ 6. ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ АНАЛІТИЧНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

М.О.Музика, студент гр. ПН-71мп, Н.В. Кулик, студентка гр. ПН-71мп ЕКСПРЕС-МЕТРІЯ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ЗАСОБАМИ ОПТИЧНОЇ СПЕКТРОСКОПІІ	196
О.А. Прищеп, студентка гр. ПН-71мп ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРОННОГО ПОМНОЖУВАЧА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЛЮМІНІСЦЕНТНИХ ДЕФЕКТІВ КРЕМНІСВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	200
В.В. Старовіт, студент гр. ПН-71мп, к.т.н., ст. викл. Божко К.М. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ	204

УДК 004.652.4:62-791.2

*Д. В. Скрипник, студент гр. ПП-71мн, д.т.н., проф. Гераїмчук М. Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ДАНИМИ В СИСТЕМІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА

Анотація. У статті описана доцільність розробки та удосконалення систем діагностування механізму хитання кристалізатора. Авторами розглянуто особливості технології неперервного лиття заготовок та систем діагностування механізмів хитання. Описана конструкція системи-прототипу та її характеристики. Розглянуто переваги і недоліки використання реляційних баз даних для збереження інформації, запропоновані різні способи організації бази даних для зберігання інформації про діагностування системи хитання кристалізатора. Проведено розрахунок приблизного об'єму пам'яті, необхідний для зберігання даних.

Ключові слова: механізм хитання, кристалізатор, MEMS-акселерометр, діагностування, база даних

ВСТУП

Металургійні комбінати з технологією неперервного розливу сталі повинні працювати тривалий час у сталому режимі, забезпечуючи при цьому високу якість лиття заготовок і не допускаючи можливостей розвитку аварійних ситуацій, внаслідок яких виникне загроза життю працівників та пошкодження обладнання. Це, у свою чергу, зупинить виробництво і залишить решту працівників без роботи. Однією з ланок машини неперервного лиття заготовок, яка потребує посиленого контролю для забезпечення сталого режиму роботи, є кристалізатор (рис 1.), функцією якого є надавати форму сталевому прокату [1].

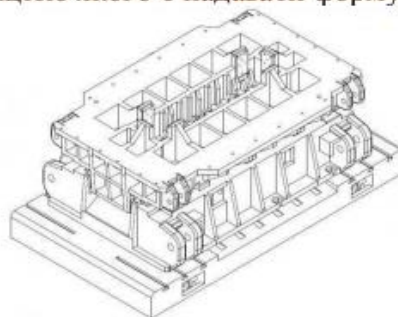


Рисунок 1. Зовнішній вигляд кристалізатора

У процесі роботи кристалізатор здійснює періодичні гармонійні або несинусоїдальні коливання невеликої амплітуди ($f = 1,67 \dots 6,6 \text{ Hz}$; $A = 0 \dots 7 \text{ mm}$; $k = 0,5 \dots 0,8$) з метою не допускати прилипання сталі до його стінок, а точність цих коливань прямо впливає на якість злитку, оскільки сліди хитання кристалізатора (oscillation marks), які виникають на ньому, погіршують якість продукту. В тому випадку, якщо параметри хитання грубо виходять за межі норми, сліди хитання набуватимуть розмірів достатніх для розриву затверділої корки сталі і проливу розплаву, що спричинить серйозну аварію. Тому доцільно використовувати системи моніторингу хитання кристалізатора на виробництвах для попередження вищезазначених недоліків, а розробка нових і вдосконалення існуючих систем моніторингу є актуальною задачею.

Найбільш широко використовуваними на металургійних підприємствах світу є системи діагностування виробників Voestalpine Mechatronics GmbH (Австрія), Kiss Technologies Inc, Tozato Engenharia (США, Аргентина), НПП

«Техноап» (Росія), Ergolines OPI (Італія). Системи мають схожу конструкцію, принцип роботи і обробки даних, а також високу ціну покупки та обслуговування іноземними спеціалістами чи ліцензованої підготовки працівників підприємства. Це заважає їм бути широко представленими на українському ринку. З недоліків варто зазначити також пропріетарність форматів даних моніторингу, що можуть бути прочитані і досліджені лише в програмах цих виробників, тому дослідники не мають можливості отримати доступ до даних і використати їх. Також варто відмітити неможливість гнучкого налаштування системи під змінені параметри експлуатації. Оскільки ливарне виробництво в Україні та закордоном представлене достатньо широко, розробка подібної системи є достатньо пріоритетною та рентабельною задачею [2].

Тому важливими задачами є розробка адаптивної системи обробки інформації та оптимізація існуючого алгоритму обробки інформації. Це дозволить суттєво зменшити час обробки інформації та дозволить використовувати однаковий об'єм пам'яті для збереження більшої кількості даних. Також подібний спосіб збереження інформації дозволяє зробити дані легкодоступними з одного боку для візуалізації або додаткової обробки, а з іншого – надає можливість додатково захистити їх за допомогою відомих засобів шифрування [3].

II. АПАРАТНА ЧАСТИНА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ

Прототип системи був створений на основі триосьових мікроелектромеханічних (MEMS) акселерометрів LIS331DLH (рис.3) і випробуваний на виробництві (рис.2). При низькій вартості, такі акселерометри мають досить високі метрологічні характеристики, що дає можливість створювати на їх основі системи контролю з точністю, співставною із закордонними системами, а вартість визначатиметься в основному складністю і функціональністю програмного забезпечення.

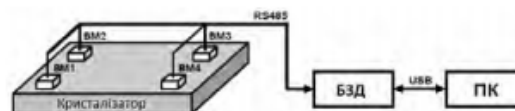


Рисунок 2. Узагальнена структурна схема системи

Система дозволяє відслідковувати траєкторію руху кристалізатора і визначати відхилення від заданого сигналу. На рис.2 позначені: BM1 – BM4 – вимірювальні модулі на основі триосьових мікроелектромеханічних акселерометрів, що також містять схеми перетворення сигналів; БЗД – блок збору даних; ПК – персональний комп'ютер або сервер, на якому буде встановлено програмне забезпечення.

Основні технічні параметри системи: кількість вимірів на секунду -1600; роздільна здатність – 0,5 mg; час вимірювання – 3с.

Технічні параметри акселерометра: 16-бітний вивід даних; напруга живлення від 2,16 до 3,6 В; 2g/4g/8g шкала з динамічним вибором; вимірювання

прискорень з частотою вихідних даних від 0,5 Гц до 1 кГц; 6D орієнтація у просторі; максимальне допустиме навантаження 10000g; діапазон робочих температур: -40° $+85^{\circ}$.

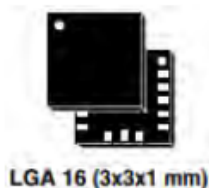


Рисунок 3. LIS331DLH

Вихідні дані системи: прискорення, швидкості і переміщення по кожній з трьох осей кожного датчика [4].

III. РОЗРОБКА БАЗИ ДАНИХ

Мета статті: показати доцільність розробки та реалізації програмного забезпечення, що не матиме недоліків, наведених у попередньому розділі. Для цього необхідно створити базу даних для зберігання інформації, що надходить від апаратного забезпечення. Також, розробка бази даних дозволить у майбутньому накопичувати дані, які слугуватимуть опорними для навчання системи діагностування (технологія machine learning).

Для роботи системи діагностування пропонується організувати збереження інформації за допомогою реляційної бази даних (далі БД).

Реляційна БД представляє собою сукупність схем відношень, пов'язаних один з одним і дозволяє представити інформацію за допомогою пов'язаних між собою таблиць.

У реляційних базах даних вся інформація зведена у таблиці, рядки і стовпці, що називаються записами і полями відповідно. Ці таблиці отримали назву реляцій. Записи у таблицях не повторюються. Їх унікальність забезпечується первинним ключем, що містить набір полів, однозначно визначаючих запис [5].

Переваги моделі:

- відображає інформацію в найбільш простій для користувача формі;
- заснована на розвиненому математичному апараті, який дозволяє досить лаконічно описати основні операції над даними;
- дозволяє використовувати мови маніпулювання даними не процедурного типу;
- забезпечує маніпулювання даними на рівні вихідної БД і можливість зміни.

Модель має наступні недоліки:

- більш повільний доступ до даних, ніж у існуючих аналогів;
- трудомісткість розробки. [6].

Крім того, база даних дозволяє зчитати інформацію з файлу поза межами програми, що використовувалася для їх запису.

Було розглянуто два можливих варіанти організації структури бази даних:

- створення однієї таблиці, в яку будуть записані дані з усіх акселерометрів, і час, протягом якого проходило вимірювання;

Tables_in_prototype_db

data1

data2

data3

data4

time

a)

```
mysql> select * from data1;
+----+-----+-----+-----+
| X   | Y     | Z     | id   |
+----+-----+-----+-----+
| 1121124 | 1212124 | 8845121 | 1    |
+----+-----+-----+-----+
1 row in set (0.04 sec)
```

Рисунок 4. Структура прототипної БД (а) бази даних з чотирма таблицями даних і однією зв'язуючою; б) таблиця з умовними значеннями для прикладу;

подальшу обробку.

Використання бази даних дозволить розширити спектр інструментів для обробки даних, полегшить впровадження нових технологій в процес вимірювання, обробки та візуалізації інформації, що є наступним етапом досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. Н. Смирнов, С. В. Куберский and Е. Штепан, Непрерывная разливка стали, Учебник. - Донецк: ДонНТУ, 2011. - 482 с. - рус.
2. В. А. Диденко, к. т. н. А. Ф. Бондаренко and А. Н. Полено, "Обзор средств контроля траектории движения кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок," Одеса, 2014.
3. В. А. Сидоров and А. Л. Сотников, "Анализ систем контроля и диагностирования механизмов качания МНЛЗ," Наукові праці Донецького національного технічного університету (Сер.: Металургія), no. 102, pp. 46-55, 2005
4. "LIS331DLH," [Online]. Available: <http://www.st.com/...>
5. К. Д. Дейт, Введение в системы баз данных — 7-е изд, Москва: Вильямс, 2001, p. 1072.
6. "Реляційні бази даних - переваги та недоліки," [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/gosyvmkss12/...>

Науковий керівник – д.т.н., проф. Гераїмчук М. Д.

- створення по окремій таблиці для даних з кожного датчика і окрема таблиця, у якій кожному вимірюванню буде присвоєно часову мітку та ідентифікатор, до якого будуть прив'язані всі відповідні вимірювання з інших таблиць.

IV. ВИСНОВКИ

Використання СУБД для збереження інформації, отриманої під час моніторингу має ряд переваг перед існуючими аналогами. Основною із них є уніфікація, що дає можливість використовувати дані моніторингу при подальшій обробці без додаткових програм або конверторів, передавати їх для візуалізації у сторонні програми, додатки, веб-ресурси.

Авторами запропонована модель зберігання інформації у вигляді бази даних. Було перераховано переваги такої моделі. Окрім того, створення подібної бази даних суттєво спрощує доступ до даних та їх

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 29 (68) № 5 2018

Частина 3

**Київ
2018**

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Кузьменко Борис Володимирович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 3 від 08.11.2018 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідectво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія KB № 22895-12795P від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 № 1714 (додаток 7)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Кропачев Р.В., Ахтямова Э.Р., Мухаметзянова З.Р., Зиганшин Р.Т., Дибиров А.К. ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ.....	83
---	-----------

Найдынова В.С. ОГЛЯД МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ ДОВАНТАЖУВАЛЬНИХ СИЛ ТЕРТЯ ҐРУНТУ, ЩО ДІЮТЬ ПО БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ БУРОВИХ ПАЛЬ.....	88
---	-----------

Саркисян Г.С., Ряпухин В.Н. ВЛИЯНИЕ РОВНОСТИ ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПАРАМЕТРЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА.....	93
--	-----------

Сторожук Н.А., Павленко Т.М., Аббасова А.Р. ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ.....	98
--	-----------

ГЕОДЕЗИЯ

Казаченко Л.М. ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДЗЗ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСІВ ЗСУВУ ҐРУНТУ.....	105
--	------------

ЕЛЕКТРОНІКА

Крилов А.В., Ямненко Ю.С. ЗАСТОСУВАННЯ БІБЛІОТЕКИ MACHINE LEARNING ДЛЯ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ MICROGRID.....	111
---	------------

Можаровський Д.О., Ямненко Ю.С. ПЕРВИННА ОБРОБКА ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ БІОТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ДАТЧИКА ПУЛЬСУ.....	116
--	------------

Семенюк А.О., Скрипник Д.В. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ДАНИМИ В СИСТЕМІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА.....	122
--	------------

Терещенко Т.О., Хижняк Т.А., Лайкова Л.Г., Овсієнко М.Ю., Заруба Д.С. ВИЗНАЧЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	127
---	------------

Удовиченко Є.С., Попов А.О., Чайковський І.А. МУЛЬТИКЛАСОВА КЛАСИФІКАЦІЯ КАРТ РОЗПОДІЛУ ГУСТИНИ СТРУМУ У МІОКАРДІ.....	133
--	------------

Яненко М.В., Попов А.О. ВИЗНАЧЕННЯ РУХУ ПАЛЬЦЯМИ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОКОРТИКОГРАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	138
--	------------

УДК 004.652.4:62-791.2

Семенюк А.О.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Скрипник Д.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ДАНИМИ В СИСТЕМІ ДІАГНОСТУВАННЯ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА**

У статті описана доцільність розробки та вдосконалення систем діагностування механізму хитання кристалізатора. Авторами розглянуті особливості технології неперервного лиття заготовок та систем діагностування механізмів хитання. Описана конструкція системи-прототипу та її характеристики. Також розглянуто переваги і недоліки використання реляційних баз даних для збереження інформації, запропоновані різні способи організації бази даних для зберігання інформації про діагностування системи хитання кристалізатора. Було проведено розрахунок приблизного об'єму пам'яті, необхідного для зберігання даних. Запропоноване рішення відрізняється зручністю в експлуатації та меншою вартістю.

Ключові слова: механізм хитання кристалізатора, MEMS-акселерометр, діагностування, база даних.

Постановка проблеми. Металургійні комбінації з технологією неперервного розливу сталі мають працювати тривалий час у сталому режимі, забезпечуючи при цьому високу якість лиття заготовок [1] і не допускаючи можливостей розвитку аварійних ситуацій, внаслідок яких виникне загроза життю працівників та пошкодження обладнання, а це, своєю чергою, зупинить виробництво і залишить решту працівників без роботи. Однією з ланок машини неперервного лиття заготовок, яка потребує посиленого контролю для забезпечення сталого режиму роботи, є кристалізатор (рис. 1.) [2], функція якого надавати форму сталевому прокату [3].

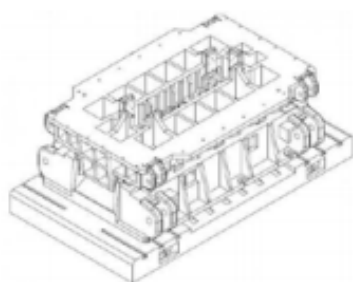


Рис.1. Зовнішній вигляд кристалізатора [2]

У процесі роботи кристалізатор здійснює періодичні гармонійні або несинусоїдальні коливання [3] невеликої амплітуди

$$f = 1,67 \dots 6,6 \text{ Hz};$$

$$A = 0 \dots 7 \text{ mm};$$

$$k = 0,5 \dots 0,8$$

з метою не допускати прилипання сталі до його стінок, а точність цих коливань прямо впливає на якість злитку, оскільки сліди хитання кристалізатора (oscillation marks), які виникають на ньому, погіршують якість продукту [4]. У тому разі, коли параметри хитання грубо виходять за межі норми, сліди хитання набуватимуть розмірів достатніх для розриву затверділої корки сталі і проливу розплаву, що спричинить серйозну аварію. Тому доцільно використовувати системи моніторингу хитання кристалізатора на виробництвах для попередження вищезазначених недоліків, а розробка нових і вдосконалення наявних систем моніторингу є актуальною задачею.

Найбільш широко використовуваними на металургійних підприємствах світу є системи діагностування виробників Voestalpine Mechatronics GmbH (Австрія), Kiss Technologies Inc, Tozato Engenharia (США, Аргентина), НПП «Техноат» (Росія) [5], Ergoline OPI (Італія) [6]. Системи мають схожу конструкцію, принцип роботи й обробки даних, а також високу ціну покупки та обслуговування іноземними спеціалістами чи ліцензованої підготовки працівників підприємства [7]. Це заважає їм бути широко представленими на українському ринку. З недоліків варто зазначити також пропріетарність форматів даних

моніторингу, що можуть бути прочитані і досліджені лише в програмах від цих виробників, тому дослідники не мають можливості отримати доступ до даних і використати їх. Також варто відзначити неможливість гнучкого налаштування системи під змінені параметри експлуатації. Оскільки ливарне виробництво в Україні та за кордоном представлене досить широко, розробка подібної системи є пріоритетною та рентабельною задачею.

Постановка завдання. Тому важливим є завдання розробити адаптивну систему обробки інформації або оптимізувати наявний алгоритм обробки інформації. Це дасть змогу суттєво зменшити час обробки інформації та використовувати однаковий об'єм пам'яті для збереження більшої кількості даних. Мета статті – запропонувати одну з можливих побудов баз даних для такої системи. Подібний спосіб збереження інформації дає змогу зробити дані легкодоступними, з одного боку, для візуалізації або додаткової обробки, а з іншого – надає можливість додатково захистити їх за допомогою відомих засобів шифрування.

Виклад основного матеріалу дослідження.
Апаратна частина системи діагностування. Прототип системи був створений на основі трьохосових мікроелектромеханічних (MEMS) акселерометрів LIS331DLH (рис. 3) і випробуваний на виробництві (рис. 2). За низької вартості такі акселерометри мають досить високі метрологічні характеристики, що дає можливість створювати на їх основі системи контролю з точністю, співставною із зарубіжними системами, а вартість визначатиметься в основному складністю і функціональністю програмного забезпечення [8].

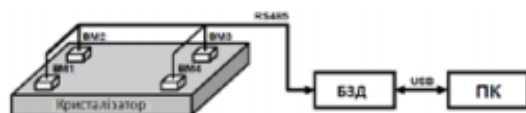


Рис. 2. Узагальнена структурна схема системи-прототипу [7]

Система дає змогу відслідковувати траєкторію руху кристалізатора і визначати відхилення від сигналу завдання. На рис. 2 позначені: BM1 – BM4 – вимірювальні модулі на основі трьохосових мікроелектромеханічних акселерометрів, що також містять схеми перетворення сигналів; БЗД – блок збору даних; ПК – персональний комп'ютер або сервер, на якому буде встановлено програмне забезпечення.

Основні технічні параметри системи: кількість вимірів на секунду – 1600; роздільна здатність – 0,5 mg; час вимірювання – 3 с.

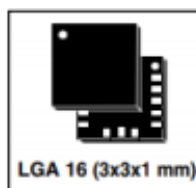


Рис. 3. LIS331DLH 0,5 Гц до 1 кГц. 6D орієнтація у просторі; витримує до 10000g; діапазон робочих температур: -40° +85° [9].

Вихідні дані системи: прискорення, швидкості і переміщення по кожній з трьох осей кожного датчика [7].

Розробка бази даних. Авторами вирішено розробити та реалізувати програмне забезпечення, що не матиме недоліків, наведених у попередньому розділі. Для цього необхідно створити базу даних для зберігання інформації, що надходить від апаратного забезпечення. Також розробка бази даних дасть змогу в майбутньому накопичувати дані, які слугуватимуть опорними для навчання системи діагностування з алгоритмом machine learning.

Для роботи системи діагностування пропонується організувати збереження інформації за допомогою реляційної бази даних (далі – БД).

Реляційна БД являє собою сукупність схем відношень, пов'язаних один з одним, і дає змогу представити інформацію за допомогою пов'язаних між собою таблиць [10].

У реляційних базах даних вся інформація зведена у таблиці, рядки і стовпці, що називаються записами і полями відповідно. Ці таблиці отримали назву реляцій. Записи в таблицях не повторюються. Їх унікальність забезпечується первинним ключем, що містить набір полів, однозначно визначаючих запис.

Переваги:

- модель даних відображає інформацію в найбільш простій для користувача формі;
- заснована на розвиненому математичному апараті, який дає змогу досить лаконічно описати основні операції з даними;
- дає змогу використовувати мови маніпулювання даними не процедурного типу;
- маніпулювання даними на рівні вихідної БД і можливість зміни.

Недоліки:

- найбільш повільний доступ до даних;
- трудомісткість розробки [11].

Крім того, база даних дає змогу зчитати інформацію з файлу поза межами програми, що використовувалася для їх запису.

Було розглянуто два можливі варіанти організації структури бази даних:

– створення однієї таблиці, у яку будуть записані дані з усіх акселерометрів, і час, протягом якого проходило вимірювання;

– створення по окремій таблиці для даних з кожного датчика і окрема таблиця, у якій кожному вимірюванню буде присвоєно часову мітку та ідентифікатор, до якого будуть прив'язані всі відповідні вимірювання з інших таблиць.

Перший варіант простіший у реалізації, тоді як другий забезпечує більшу наочність даних і спрощує їх аналіз, а також підвищує надійність. Так, у разі втрати сигналу або помилки зчитування з якогось датчика не будуть втрачені всі дані одразу, а лише ті, які надходили з несправного датчика, а система продовжить функціонувати з використанням даних з трьох інших датчиків. Однак у цьому разі буде неможливо застосувати метод теоретичної перевірки траєкторії по надмірних даних з четвертого датчика. Перенесення ж часових міток у окрему таблицю дасть змогу мінімізувати розмір файлів, оскільки інформація не повторюватиметься тричі в таблицях.

Таблиці даних організовуються, створивши у них три стовпці для сигналів по осях X, Y, Z і первинний ключ.

Значенню первинного ключа відповідає мітка часу, що однакова для всіх таблиць з даними. Знову ж таки для зменшення розмірів файлів результатів пропонується дати можливість користувачу визначати, записувати дані з мітками реального часу для кожного вимірювання, фіксувати час тільки відносно початку вимірювань або обидва варіанти.

Також необхідно створити стовпці з мітками, які відображатимуть інформацію про те, на якому саме кристалізаторі машини неперервного лиття заготовок встановлений цей датчик, адже можливе під'єднання до одного комп'ютера керування декількох систем датчиків для одночасного контролю в реальному часі більше ніж одного кристалізатора.

Розрахунок приблизного розміру файлу вимірювань. Скористаємося даними про величину різних типів даних у MySQL. Зміна чисельного типу – 4 байти, дата+час – 8 байт. Кожна таблиця з даними містить три числові значення та первинний ключ (у підсумку 4 цифрові поля). Таких таблиць загалом 4 (за кількістю датчиків). Таблиця, що з'єднує мітки часу і первинні ключі, містить числове поле та поле типу дата-час. Загалом маємо 76 байт для запису одного циклу вимірювань. За середньої частоти в 1000 вимірювань за секунду маємо 74 кілобайти даних за одну секунду. За хвилину «набігає» приблизно 4.5 мегабайти даних.

Tables_in_prototype_db
data1
data2
data3
data4
time

a)

```
mysql> select * from data1;
```

X	Y	Z	id
1121124	1212124	8845121	1

1 row in set (0.04 sec)

b)

```
mysql> describe data1;
```

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
-------	------	------	-----	---------	-------

c)

Рис. 4. Структура прототипної БД: а) бази даних з чотирма таблицями даних і однією зв'язуючою; б) таблиця з умовними значеннями для прикладу; в) властивості для комірок таблиці

Можливі такі варіанти збереження даних: збереження усього обсягу інформації, отриманої з датчиків; архівування; прорідження даних у декілька разів або взагалі їх незберігання, проводячи моніторинг у режимі реального часу і фіксує лише відхилення від норми. Кожен із запропонованих методів має свої недоліки:

– повне збереження даних вимагає серйозних об'ємів пам'яті, що не завжди можливо і раціонально у портативних системах;

– архівування частково розв'язує проблему попереднього методу, проте потребує додаткових програмних потужностей і може призводити до втрати цілих блоків даних у разі помилки архівування;

– прорідження викликати втрату точності, тому необхідно додатково обчислювати ступінь прорідження для кожного вимірювання;

– вимірювання у реальному часі не дадуть повної картини подій в подальшому, а для детектування помилок необхідна чітко визначена межа похибок та база даних попередніх вимірювань.

Висновки. Використання СУБД для збереження інформації, отриманої під час моніторингу, має низку переваг перед наявними аналогами.

Головною з них є уніфікація, що дає можливість використовувати дані моніторингу у подальшій обробці без додаткових програм або конверторів, передавати їх для візуалізації у сторонні програми, додатки, веб-ресурси.

Авторами запропонована модель зберігання інформації у вигляді бази даних, що дає змогу зберігати 4.5 мегабайти даних за хвилину. Наявні системи моніторингу хитання кристалізатора створюють файли розміром 600 кілобайт за хвилину, що є значно меншою величиною, ніж запропонований авторами спосіб. Таким чином, було

встановлено, що використання баз даних не є рентабельним з точки зору економії пам'яті. Однак переваги такого режиму зберігання даних очевидні і були перераховані у попередніх розділах статті. Окрім того, створення подібної бази даних суттєво спрощує доступ до даних та їх подальшу обробку.

Використання бази даних дасть змогу розширити спектр інструментів для обробки даних, полегшить впровадження нових технологій у процес вимірювання, обробки та візуалізації інформації, що є наступним етапом досліджень.

Список літератури:

1. Бровман М.Я., Марченко И.К., Кан Ю.Е., Иванов В.И. Усовершенствование технологии и оборудования машин непрерывного литья заготовок, Киев: Техника, 1976.
2. Cast Mold Transmission. URL: <http://sevcapnplmdesigner.com/portfolio/cast-mold-transmission/> (дата звернення 28.05.2018).
3. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е. Непрерывная разливка стали: учебник. Донецк: ДонНТУ, 2011. 482 с. рис.
4. Devine K.M., Vynnycky M., Saleem S. and Florio B.J. On the formation of fold-type oscillation marks in the continuous casting of steel. Royal Society Open Science, no. DOI: 10.1098/rsos.170062, 2017.
5. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Анализ систем контроля и диагностирования механизмов качания МНЛЗ. Наук. праці Донецького національного технічного університету (Сер.: Металургія). № 102, С. 46–55, 2005.
6. OSCILLATOR CHECKER MOULD OSCILLATION MONITORING SYSTEM AND OSCILLATOR CHECKER. URL: <http://www.ergolines.it/products/opi/> (дата звернення 15.06.2018).
7. Полено А.Н., Диденко В.А., Бондаренко А.Ф. Алгоритм функционирования информационно-измерительной системы для мониторинга механических колебательных процессов. Одеса, 2013.
8. Диденко В.А., к. т. н., Бондаренко А.Ф., Полено А.Н. Обзор средств контроля траектории движения кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок, Одеса, 2014.
9. LIS331DLH. URL: http://www.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/accelerometers/lis331dlh.html (дата звернення 18.06.2018).
10. Дейт К.Д. Введение в системы баз данных. 7-е изд., Москва: Вильямс, 2001, с. 1072.
11. Реляційні бази даних – переваги та недоліки. URL: <https://sites.google.com/site/gosyvmkss12/bazy-dannyh/07-relacionnye-bazy-dannyh-dostoinstva-i-nedostatki> (дата звернення 10.05.2018).
12. Szekeres E.S. Overview of mold oscillation in continuous casting, Iron and Steel Engineer. № July, pp. 29–37, 1996.
13. Rossi I. The continuous Casting Machine Comes of Age, P., AISE Yearly Proceedings, 1964, pp. 155–160.
14. Bungeiroth A. and Speith K.G. Continuous Casting of Steel in Western Germany. Journal of the Iron and Steel Institute, № 182, pp. 158–161, 1958.
15. Шюрман Э., Фиге Л., Кайзер Х.-П., Кларес Т. Влияние качания кристаллизатора на качество поверхности непрерывнолитых слэбов. Чер. металлы, № 22, pp. 27–33, 1986.
16. Кристалізатор. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Кристалізатор> (дата звернення 20.06.2018).
17. Смирнов А.Н., Антыкуз О.В. Комплексный контроль параметров качания кристаллизаторов МНЛЗ. Металл и литье Украины. № 1–2, с. 57–61, 2009.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ С ДАННЫМИ В СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

В статье описана целесообразность разработки и совершенствования систем диагностирования механизма качания кристаллизатора. Авторами рассмотрены особенности технологии непрерывного литья заготовок и систем диагностирования механизмов качания. Описана конструкция системы-прототипа и ее характеристики. Также рассмотрены преимущества и недостатки использования реляционных баз данных для хранения информации, предложены различные способы организации базы данных для хранения информации о диагностировании системы качания кристаллизатора. Был проведен расчет приблизительного объема памяти, необходимый для хранения данных. Предложенное решение отличается удобством в эксплуатации и меньшей стоимостью.

Ключевые слова: механизм качания кристаллизатора, MEMS-акселерометр, диагностирование, база данных.

**SPECIALTIES OF OPERATING WITH DATA IN A MOLD
OSCILLATION MECHANISM TECHNICAL CONDITION DIAGNOSING SYSTEM**

The article describes the expediency of developing and improving systems for diagnosing the mold oscillation mechanism. The authors have considered the features of the continuous cast technology and systems for diagnosing oscillation mechanism. Design of the prototype system and its features have been described. Also the advantages and disadvantages of using relational databases for storing information are considered, various ways of organizing the database for storing information on diagnosing a molding system of a crystallizer are offered. A calculation was made of the approximate amount of memory required to store data. The proposed solution is characterized by convenience in operation and a lower cost.

Key words: mold oscillation mechanism, MEMS accelerometer, diagnostics, database.